II DEO

MERENJE UZEMLJENJA ELEKTRIČNIH UREĐAJA

Inž. France Mlakar

2.0. UVOD

Uzemljenje odgovara svojoj nameni samo onda ako je njegov otpor i pri najnepovoljnijim uslovima, na primer, u slučaju velike suše, manji ili bar jednak vrednosti koju smo odredili po uputstvima iz prvog dela ove knjige, odnosno koju zahtevaju propisi o bezbednosti.

Po postavljanju uzemljenja otpore treba kontrolisati, kako bi se uverilo o tome da li smo postigli zahtevane vrednosti. Isto tako, s vremena na vreme treba prokontrolisati i postojeće instalacije uzemljenja kako bismo se uverili u njihovu ispravnost. Nemački propisi (VDE) [2.31], na primer, zahtevaju merenje otpora uzemljivača svakih pet godina. Francuski su, međutim, strožiji jer zahtevaju periodičnu kontrolu svake godine.

Obično otpor uzemljivača merimo preko leta, kada je zemlja suva, da bismo dobili podatak o kvalitetu uzemljivača za vreme najnepovoljnijih uslova. Međutim, nekad je od koristi i podatak o otporu uzemljivača kada je zemlja vlažna, jer je potrebno utvrditi razliku u otporu pri različitim stepenima vlažnosti zemlje.

2.1. Uslovi za pravilno merenje otpora uzemljivača

2.11. Pojam otpora uzemljivača

Pri razmatranju uzemljivača moramo razlikovati sledeće otpore:

— specifični otpor tla je specifični električni otpor tla kao materije. Obično se izražava u $\Omega m^2/m = \Omega m$, a predstavlja ga otpor kocke zemlje sa stranicom od 1 m;

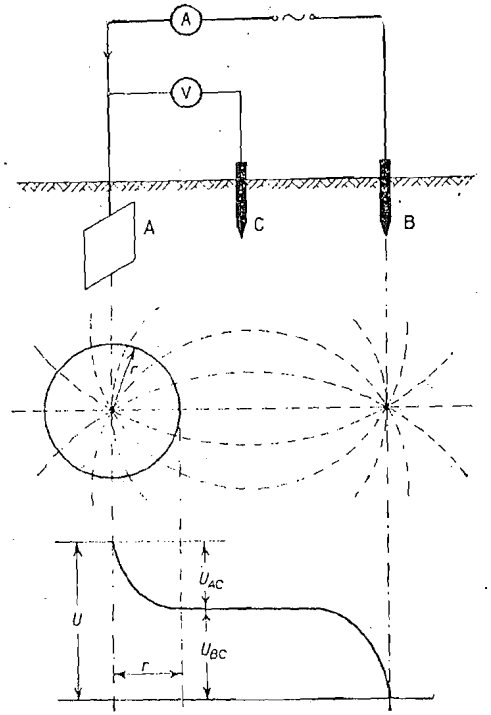
— otpor uzemljenja je zbir otpora rasprostiranja uzemljivača i otpora dovoda do uzemljivača. Kao dovode do uzemljivača odnosno uzemljivačke vodove, podrazumevamo samo izolo-

vane provodnike, dok neizolovane provodnike smatramo sastavnim delom uzemljivača;

— otpor rasprostiranja predstavlja otpor zemlje između uzemljivača i tzv. idealne zemlje tj. skup dovoljno udaljenih tačaka čiji je električni potencijal praktično ravan nuli;

— otpor rasprostiranja na udar je onaj otpor rasprostiranja koji se javlja pri prolasku udarne struje. On zavisi od vrste uzemljivača, zemlje i vremenskog oblika udarne struje.

Najveći deo otpora rasprostiranja skoncentrisan je u njegovoj neposrednoj blizini, gde je naponski levak najstrmiji (sl. 2.01) tj. u



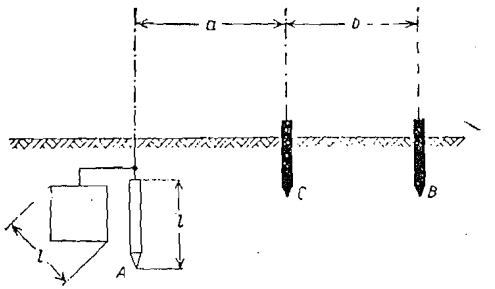
Sl. 2.01 — Raspored ispitivanog i pomoćnog uzemljivača

A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
r: poluprečnik površine zatvaranja
U: napon između uzemljivača A i B
U_{AC}: napon između uzemljivača A i sonde C
U_{BC}: napon između uzemljivača B i sonde C

području *površine zatvaranja*, koja je na slici omeđena krugom poluprečnika *r*. Stoga, bilo koji od metoda da upotrebimo za merenje otpora rasprostiranja, merimo ustvari otpor između uzemljivača i zemlje koja ga okružuje izvan površine zatvaranja. Pošto otpor uzemljivača nije moguće meriti na isti način kao, na primer, otpor metalnih predmeta koje možemo neposredno da priključimo na stezaljke mernog instrumenta, to su za merenje uzemljivača koga ispitujemo A, potrebna dva dopunska uzemljivača. Da bi zatvorili strujno kolo preko zemlje potreban je *pomoćni uzemljivač* B, koji služi kao strujni uzemljivač. Njega moramo da postavimo na takvom rastojanju od uzemljivača A, da se površine zatvaranja ne prekrivaju. Još je bolje da između naponskih levkova odnosno površina zatvaranja postoji duži ili kraći odsek sa gotovo konstantnim potencijalom. Međutim, za priključak voltmetra odnosno naponskog kola mernog instrumenta potreban je još i uzemljivač C koga obično nazivamo sondom. On mora da se postavi između uzemljivača koga ispitujemo i pomoćnog uzemljivača, tako da se nalazi izvan obe površine zatvaranja, kao što se to vidi na slici 2.01.

2.12. Rastojanje između uzemljivača koga ispitujemo i sonde odnosno između sonde i pomoćnog uzemljivača

Ako raspolažemo računskim podacima o veličini naponskog levka odnosno površine zatvaranja uzemljivača koga ispitujemo, onda ćemo sondu i pomoćni uzemljivač postaviti na najpravilnijem rastojanju. Sonda treba da bude izvan računski određene površine



A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
l: dužina odnosno dijagonala ispitivanog uzemljivača

Sl. 2,02 — Rastojanje sonde i pomoćnog uzemljivača od ispitivanog uzemljivača

zatvaranja, dok pomoćni uzemljivač, ako je malih dimenzija, postavljamo na približno 20 m od sonde.

Ako, međutim, veličina površine zatvaranja nije poznata, ali je zato poznat tip uzemljivača, onda možemo pri određivanju rastojanja a između sonde C i uzemljivača A koga ispitujemo odnosno rastojanja b između pomoćnog uzemljivača B i sonde C (slika 2.02), da se poslužimo podacima datim u tabeli 2.01.

Tabela 2.01. **Rastojanje između uzemljivača i sonde**

Tip uzemljivača	Veličina uzemljivača	Rastojanja	
		a[1]	b
Cevasti, štapasti, obručasti pločasti ili trakasti uzemljivač	$l \leqq 4$ m $l > 4$ m	$\geqq 20$ m $\geqq 5\,l$ m	$\geqq$ 20 m[2]
Veliki površinski, zrakasti ili kombinovani uzemljivač (više međusobno povezanih cevi traka itd.)	$l > 4$ m	$\geqq 5\,l$ m[3]	$\geqq$ 20 m[2]

1) Kod obručastih i velikih površinskih (plohastih) i sličnih uzemljivača kao rastojanje a do sonde treba uzeti rastojanje do ruba uzemljivača.

2) Navedeno rastojanje za b važi samo u slučaju kada je za pomoćni uzemljivač upotrebljena jedna cev ili štap. Ako je, međutim, za pomoćni uzemljivač upotrebljen veći uzemljivač, treba se pri određivanju rastojanja držati uputstava za rastojanje između uzemljivača koga ispitujemo i sonde.

3) Propisi Udruženja nemačkih elektrotehničara (VDE) — doduše kod većih površinskih i sličnih uzemljivača — preporučuju za razmak do sonde samo 2,5 puta veće rastojanje od najveće dimenzije uzemljivača. Ipak, račun pokazuje [2.33] odnosno I deo, str. 36 i 38, da ako želimo da izbegnemo veće greške pri merenju, treba rastojanje da bude jednako bar petostrukoj vrednosti dijagonale uzemljivača (vidi poglavlje 2.13). To isto preporučuju i drugi autori [2.1, 2.2, 2.15].

Ako o ispitivanom uzemljivaču nemamo nikakvih podataka, onda pomoćni uzemljivač i sondu postavljamo u pravoj liniji sa ispitivanim uzemljivačem na rastojanju $a = b = 25$ m i tako merimo otpor uzemljivača. Posle toga, pri nepromenjenom položaju pomoćnog uzemljivača, pomerimo sondu za oko 3 m bliže ispitivanom uzemljivaču i ponovo merimo otpor. Treće merenje ćemo obaviti pošto sondu pomerimo za isto rastojanje u smeru pomoćnog uzemljivača. Ako su sva tri merna rezultata praktično ista, znači da se površine zatvaranja ne pokrivaju i da je dobijeni rezultat tačan. Ako su, pak, rezultati različiti, onda pomoćni uzemljivač B i

sondu C treba više razmaknuti i ponoviti merenje iz početka. To treba ponavljati sve dotle dok pri određenom rastojanju ne postignemo praktično jednake vrednosti.

Prema drugoj metodi, tačnost izabranih rastojanja do sonde i pomoćnog uzemljivača može se kontrolisati na taj način što se pomoćni uzemljivač postavi na rastojanju od oko 40 m od ispitivanog uzemljivača, a sonda se stavi izvan spojnice, između ispitivanog i pomoćnog uzemljivača, tako da uzemljivači i sonda čine ugaonike ravnostranog trougla. Dalji merni postupak je analogan pređašnjem. I u tom slučaju sonda se po završenom prvom merenju pomera za 3 m bliže ispitivanom uzemljivaču, a zatim za 3 m bliže pomoćnom uzemljivaču i onda se meri otpor. Ako su sve tri vrednosti praktično jednake, rastojanja su pravilna; u protivnom, treba ih povećati.

Posebnu pažnju treba posvetiti izboru rastojanja kada se radi o velikim površinskim uzemljivačima, kao što je to slučaj kod elektrana i velikih transformatorskih stanica, gde rastojanje do sonde može da iznosi 1 km i više.

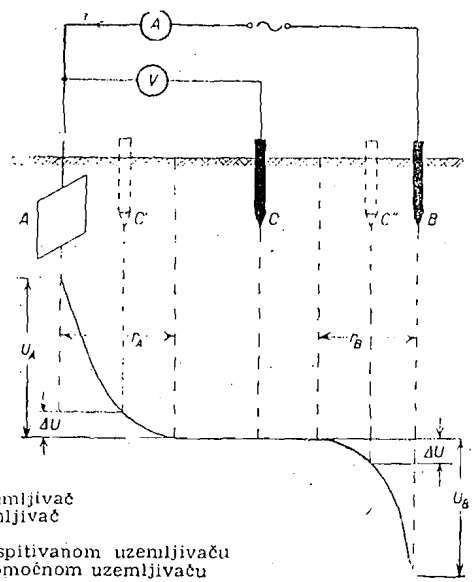
2.13. Greške zbog nepravilnog rastojanja između uzemljivača koga ispitujemo i sonde odnosno pomoćnog uzemljivača

Greške usled nepravilno izabranog rastojanja između ispitivanog uzemljivača i sonde odnosno pomoćnog uzemljivača mogu biti vrlo velike. Ako postavimo sondu (vidi sliku 2.03!), na primer, u tačku C′ tj. u unutrašnjost površine zatvaranja ispitivanog uzemljivača, voltmetar će pokazati umesto napona U_A napon $U_A - \Delta U$, zbog čega ćemo, kao rezultat, dobiti umesto otpora $R_A = U_A/I$ suviše mali otpor

$$R'_A = \frac{U_A - \Delta U}{I} \qquad \ldots 2.01$$

Ako, međutim, sondu postavimo u područje uzemljivača B, voltmetar će pokazati suviše veliki napon koji iznosi $U_A + \Delta U$, zbog čega, kao rezultat, dobijamo suviše veliki otpor uzemljenja

$$R'_A = \frac{U_A + \Delta U}{I} \qquad \ldots 2.02$$



A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
C': sonda bliže ispitivanom uzemljivaču
C'': sonda bliže pomoćnom uzemljivaču
U_A napon na ispitivanom uzemljivaču
U_B: napon na pomoćnom uzemljivaču
ΔU: greška izmerenog napona
r_A r_B: poluprečnik površine zatvaranja

Sl. 2.03 — Greške zbog nepravilnog rastojanja sonde

Stoga je greška u prvom slučaju negativna, a u drugom pozitivna. Za apsolutnu grešku važi

$$\Delta R_A = R'_A \mp R_A = \mp \frac{\Delta U}{I} \qquad \ldots 2.03$$

odnosno za relativnu grešku u procentima

$$\frac{\Delta R_A}{R_A} = \mp \frac{\Delta U}{U_A} \cdot 100 \qquad \ldots 2.03a$$

Primer 2.1.

Uzmimo da je sonda bliža ispitivanom uzemljivaču A tako da smo, na primer, izmerili $\Delta U = 0{,}2\,U$. Tada je relativna greška

$$\frac{\Delta R_A}{R_A} = -\frac{0{,}2\,U_A}{U_A} \cdot 100 = -20\,\%$$

Ako je otpor pomoćnog uzemljivača B znatno veći od otpora ispitivanog uzemljivača, kao što je to u većini slučajeva, može da dođe do osetne greške ukoliko sondu postavimo bliže pomoćnom uzemljivaču, što može lepo da se vidi iz primera 2.2

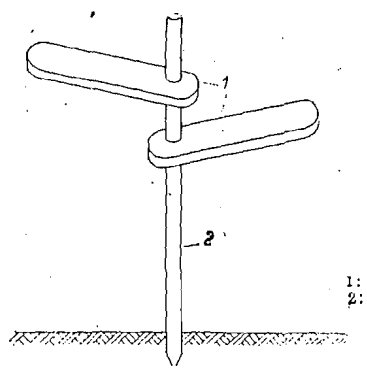
Primer 2.2.

Sonda je u tački C'' tj. unutar površine zatvaranja uzemljivača B, tako da smo izmerili $\Delta U = 0{,}2\,U_B$. Uzmimo da je $R_B = 5\,R_A$ tako da je i $U_B = 5\,U_A$. Tada dobijamo za relativnu grešku

$$\frac{\Delta R_A}{R_A} = +\frac{\Delta U}{U_A} \cdot 100 = \frac{0{,}2U_B}{U_A} \cdot 100 = \frac{0{,}2 \cdot 5\,U_A}{U_A} \cdot 100 = 100\,\%$$

2.14. Oblik sonde i pomoćnog uzemljivača

Obično za pomoćni uzemljivač i sondu upotrebljavamo čelične štapove ili cevi prečnika 10 do 20 mm i dužine do 1 m. Preporučuje se da se štapovi na jednom od svojih krajeva zašilje kako bi ih lakše pobijali u zemlju. Za izvlačenje iz zemlje pogodne su ručice, na primer, kao na slici 2.04. Ove moraju da imaju rupu sa oštrim ivicama, koje po mogućnosti treba da budu kaljene, kako bi se što više usekle u štapove i na taj način omogućile sigurno hvatanje. Isto su tako pogodni i štapovi čiji donji deo ima oblik svrdla što omogućava uvrtanje štapa u zemlju. Neke fabrike isporučuju te



1: ručka
2: pomoćni uzemljivač odn. sonda

Sl. 2.04 — Ručke za izvlačenje sonde i pomoćnog uzemljivača iz zemlje

štapove kao opremu uz merne instrumente. Preporučuje se da ti štapovi ili cevi budu pocinkovani, radi osiguranja od oksidacije.

Opisani štapovi se upotrebljavaju kao pomoćni uzemljivači, odnosno kao sonde, isključivo u mekom terenu, pošto ih je moguće pobijati u zemlju bez teškoća. Ukoliko je teren tvrd i kamenit treba problem rešavati na drugi način. Katkad su u blizini na raspolaganju gromobranski uzemljivači, koje obično možemo bez ičeg upotrebiti bilo kao pomoćni uzemljivač bilo kao sondu. Često se i postojeća vodovodna mreža može upotrebiti kao pomoćni uzemljivač, ali u tom slučaju treba proveriti da li su sve cevi mreže dovoljno udaljene od ispitivanog uzemljivača kako bi se izbeglo prekrivanje površina zatvaranja.

U izuzetno teškim uslovima (na kamenitom tlu) upotrebljavaju se takozvane kapacitivne sonde i pomoćni uzemljivači, koje pravimo na taj način što u vreću ušijemo žičanu mrežu od žica razmaknutih 10 do 20 mm. Takva mreža mora da ima površinu od 1 do 2 m². Ovakvu sondu položimo na tlo i polijemo slanom vodom. Kapacitivna sonda se može napraviti i ako u vreću sa vlažnom glinom postavimo metalnu mrežu koju povežemo sa dovodnom žicom. Glina mora da bude dobro natopljena slanom vodom.

Ako je teren kamenit i pošumljen, može se [2.17] kao pomoćni uzemljivač odnosno sonda upotrebiti i korenje drveća. U takvim slučajevima pobijamo štapove u deblo drveta.

2.15. Uticaj otpora sonde i pomoćnog uzemljivača

Otpor pomoćnog uzemljivača i sonde je uglavnom vrlo veliki kada u tu svrhu upotrebljavamo štapove ili cevi opisane u odeljku 2.14. Često taj otpor iznosi i nekoliko stotina oma, a u nepovoljnim slučajevima čak i više od hiljadu. Fabrički instrumenti za merenje otpora uzemljivača napravljeni su, doduše, tako da otpori pomoćnog uzemljivača i sonde ne utiču na merni rezultat. Ipak, treba voditi računa o tome da otpor bude što manji, pošto se sa povećavanjem otpora, uopšte, smanjuje osetljivost mernog instrumenta. Stoga se preporučuje da se pre merenja pomoćni uzemljivač i sonda zaliju vodenim rastvorom kuhinjske soli ili sode. U određenim slučajevima treba pobiti u zemlju više štapove na rastojanju od oko 3 metra i međusobno ih povezati, a onda celu grupu upotrebiti kao pomoćni uzemljivač.

Što se tiče otpora sonde, treba ukazati na to da pri merenju otpora uzemljenja takvim metodama ili pomoću takvih mernih instrumenata, kod kojih kroz sondu teče makar i mala struja naponskog kola mernog uređaja, otpor sonde uticaće u određenoj meri na tačnost merenja. Zato se u takvim slučajevima treba pobrinuti da otpor sonde bude, u poređenju sa unutrašnjim otporom voltmetra odnosno naponskog kola mernog instrumenta, što manji.

Nasuprot tome, kod mernih metoda odnosno mernih instrumenata, gde je sonda za vreme očitavanja rezultata bez struje (nulte metode) otpor ne utiče na tačnost merenja već samo na osetljivost instrumenta.

2.16. Vrsta merne struje

Iako bi merenje otpora uzemljivača jednosmernom strujom omogućilo neposrednu upotrebu osetljivih mernih instrumenata za jednosmernu struju, ono se zbog moguće pojave polarizacije ne dozvoljava. Stoga otpor rasprostiranja uzemljivača (isto kao i otpor tečnosti) treba meriti samo *naizmeničnom strujom*. Učestanost naizmenične struje nema bitnog uticaja na merenje, jer u mernom strujnom kolu preovlađuje omski otpor. Uprkos tome, preporučuje se da učestanost upotrebljene struje bude onog reda veličine koju ima struja koja teče preko uzemljivača. Stoga, uopšte, treba učestanost da bude reda veličine mrežne učestanosti (sem kod gromobranskih uzemljenja!).

2.17. Uticaj lutajućih struja na merenje

Lutajuće struje koje se javljaju usled prisustva elektrificiranih železničkih pruga ili iz nekih drugih uzroka, mogu da ometaju merenje otpora uzemljivača. Iako su greške gotovo neznatne kada je merena struja u poređenju s lutajućom dovoljno velika, ipak na to treba obratiti pažnju, naročito pri merenju otpora metodom merenja struje i napona. Međutim, fabrički merači otpora uzemljivača — što ćemo kasnije videti iz opisa mernih instrumenata — u većini slučajeva tako su napravljeni da eventualne lutajuće struje ne mogu da utiču na merni rezultat.

2.2. Pregled mernih metoda za merenje otpora rasprostiranja uzemljivača

2.21. Metoda merenja struje i napona

Pri primeni metode merenja struje i napona radimo prema šemi na slici 2.01. Na strujno kolo: ispitivani uzemljivač A — zemlja — pomoćni uzemljivač B, priključimo naizmenični napon, na primer, iz mreže i merimo ampermetrom struju I u tom strujnom kolu. Voltmetrom V merimo napon U_{AC} između ispitivanog uzemljivača i sonde C, tj. između ispitivanog uzemljivača i zemlje koja ga okružuje izvan površine zatvaranja. Na taj način dobijamo otpor ispitivanog uzemljivača A

$$R_A = \frac{U_{AC}}{I}\ \Omega \qquad \ldots 2.04$$

Ukoliko nam je potreban i podatak o otporu pomoćnog uzemljivača B, onda priključujemo voltmetar na pomoćni uzemljivač B, izmerimo napon U_{BC} između pomoćnog uzemljivača B i zemlje koja ga okružuje izvan njegove površine zatvaranja.

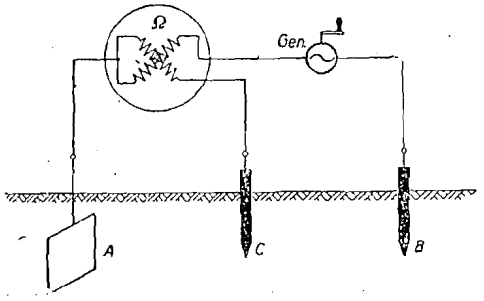
Prema tome imamo

$$R_B = \frac{U_{BC}}{I}\ \Omega \qquad \ldots 2.05$$

U slučaju korišćenja te metode, potreban je voltmetar s velikim unutrašnjim otporom kako bi uticaj otpora sonde na mereni rezultat bio što manji. Ovde zahtevaju, na primer, propisi Udruženja nemačkih elektrotehničara (VDE), da otpor voltmetra mora da bude najmanje *deset puta* veći od otpora rasprostiranja sonde [2.31]. Stoga se za tačnija merenja upotrebljavaju takođe elektronski voltmetri koji imaju ulaznu impedansu od nekoliko MΩ.

Otpor pomoćnog uzemljivača utiče, pre svega, na struju u prolazu kroz zemlju. Stoga je kod velikih otpora struja mala, pa treba povećati napon napajanja i na taj način povećati struju na odgovarajuću vrednost kako bi napon U_{AC} za merno područje upotrebljenog instrumenta bio dovoljno veliki. U isto vreme, struja mora da bude dovoljno velika da lutajuće struje ne dovedu do većih grešaka.

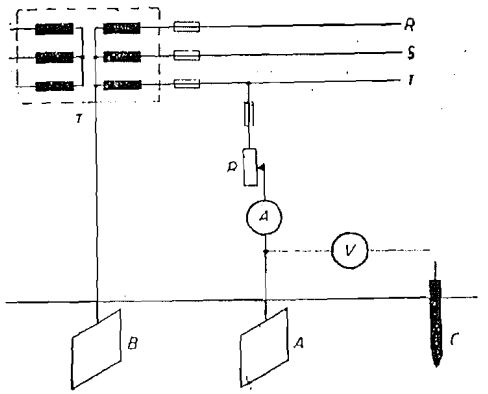
Metoda merenja struje i napona na opisani način, pri merenju uzemljivača manjih dimenzija, ređe se upotrebljava jer zahteva dosta priprema zbog čega je u neku ruku nepraktična. Za praktični rad pogodniji su fabrički merni instrumenti koji su za merenje po toj metodi izrađeni kao kvocijentni merni instrumenti (vidi sliku 2.05).



Sl. 2.05 — **Upotreba kvocijentnog merača za merenje otpora rasprostiranja**
A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
Ω: kvocijentni merač (baždaren u omima)
Gen.: ručni generator za naizmeničnu struju

U nekim slučajevima, međutim, ima ta metoda i u svojem osnovnom obliku određene prednosti. Prema šemi na slici 2.06. možemo na jednostavan način da merimo otpor ispitivanog uzemljivača, ukoliko preko odgovarajućeg regulacionog otpora (oko 30 Ω) vežemo jedan fazni provodnik sa ispitivanim uzemljivačem. U tom slučaju upotrebićemo pogonsko uzemljenje transformatora za pomoćni uzemljivač i time pojednostaviti merenje. Voltmetar priključujemo između uzemljivača i sonde koju ćemo postaviti na rastojanju određenom pomoću tabele 2.01.

Ta metoda je naročito važna kada su u pitanju merenja većih površinskih uzemljivača u elektranama i velikim transformatorskim stanicama, gde je otpor uzemljivača vrlo mali, te pri direktno uzemljenom sistemu iznosi jedva nekoliko desetina oma ili čak i manje, ili kada ova metoda predstavlja praktično jedini način merenja otpora rasprostiranja (vidi poglavlje 2.43).



A: ispitivani uzemljivač
B: pogonsko uzemljenje transformatora kao pomoćni uzemljivač
C: sonda
T: mrežni transformator
R: regulacijski otpor

Sl. 2.06 — Merenje otpora uzemljivača u mrežama pomoću metode merenja struje i napona

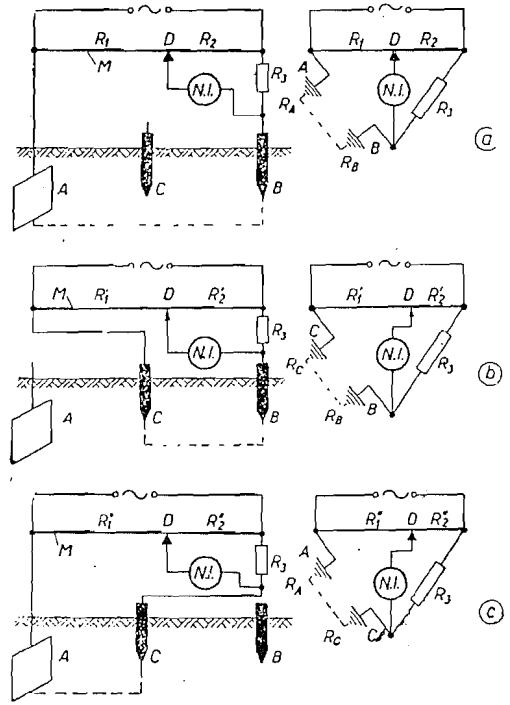
2.22. Mostovne metode

2.22.1. Nippoldtova metoda

Nippoldtova metoda zahteva tri merenja. Pri prvom merenju po šemi na slici 2.07a* merimo otpore ispitivanog uzemljivača A i pomoćnog uzemljivača B, pri drugom, po šemi na slici 2.07b, merimo otpor sonde C i pomoćnog uzemljivača B, a pri trećem, po šemi na slici 2.07c, merimo otpor ispitivanog uzemljivača A i sonde C. Merenja izvodimo na taj način što pomeramo klizač po mernoj žici sve dokle na nultom indikatoru N. I. ne postignemo minimum. Na taj način, dobijamo tri rezultata u vidu tri jednačine

$$\left.\begin{aligned} R_A + R_B &= R_3\frac{R_1}{R_2}\\ R_C + R_B &= R_3\frac{R'_1}{R'_2}\\ R_A + R_C &= R_3\frac{R''_1}{R''_2}\end{aligned}\right\} \qquad \ldots 2.06$$

* Radi lakšeg razumevanja šeme, na svakoj slici je na desnoj strani docrtana šema na način kako uobičajeno crtamo mostovne metode.



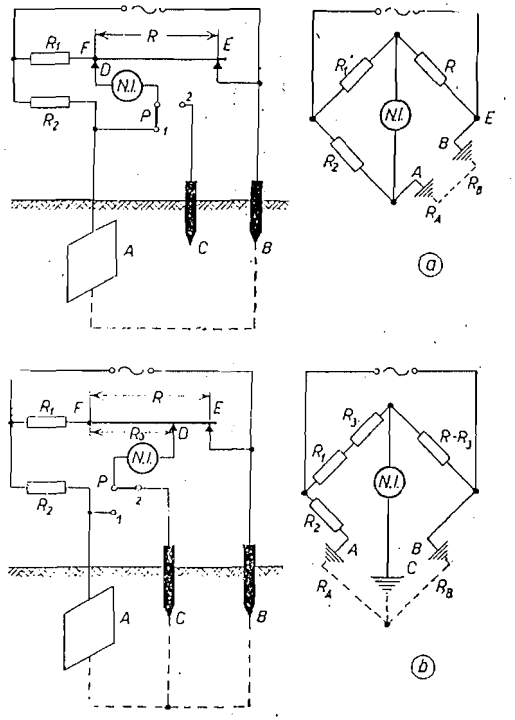
A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C. sonda
D: klizač
R_1: otpor
M: merna žica
N.I.: nulti indikator

Sl. 2.07 a, b, c — Nippoldtova metoda

Rešenjem te tri jednačine dobijamo pojedine otpore

$$\left.\begin{aligned} R_A &= \frac{R_1 - R_2 + R_3}{2}\\ R_B &= \frac{R_2 - R_3 + R_1}{2}\\ R_C &= \frac{R_3 - R_1 + R_2}{2}\end{aligned}\right\} \qquad \ldots 2.07$$

Ova metoda je u praksi vrlo nepogodna, jer zahteva tri merenja, a do rezultata dolazimo tek računom. Osim toga, tačnost merenja u osetnoj je zavisnosti od otpora sonde i pomoćnog uzemljivača (moraju da imaju približno isti otpor kao i uzemljivač koga merimo)



A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
D: klizač
E: klizač
R_1, R_2: otpori
N.I.: nulti indikator
P: preklopka
1: kontakt za prvi položaj
2: kontakt za drugi položaj

Sl. 2.09 a, b — Stösselova metoda

Pri drugom merenju (sl. 2.09 b) klizač E se ostavi na prvobitnom mestu a preklopka postavi u položaj 2. Zatim se klizač D pomera sve dotle dok se most ne dovede u ravnotežu za novu kombinaciju u mostu. Tada važi

$$(R_1 + R_3):(R_2 + R_A) = (R - R_3):R_B \qquad \ldots 2.12$$

Iz ovih jednačina, 2.11 i 2.12, dobijamo otpor uzemljivača A

$$R_A = R_3 \frac{R_2}{R_1} \qquad \ldots 2.13$$

Kad su otpori R_1 i R_2 jednaki i kad je skala merne žice baždarena u omima, može se otpor uzemljivača pročitati neposredno na

skali. Menjanjem odnosa R_2/R_1 možemo da menjamo i merno područje.

Za ovu metodu važe iste napomene kao i za Wiechertovu.

2.23. Kompenzacione metode

2.23.1. Potenciometarska metoda

Merenje potenciometarskom metodom prikazano je na slici 2.10. Dva strujna kola napajamo naizmeničnom strujom, od kojih je jedno zatvoreno preko ispitivanog uzemljivača A i pomoćnog uzemljivača B, a drugo preko merne žice EF. Prema tome, preko oba uzemljivača i zemlje teče struja I_1, koju merimo ampermetrom A_1, a preko merne žice struju I_2, koju merimo ampermetrom A_2. Na taj način, između ispitivanog uzemljivača A i sonde C javlja se pad napona U_A, a na mernoj žici između tačke E i D pad napona U_R, U slučaju da nulti instrument ne pokazuje nikakav otklon, važi

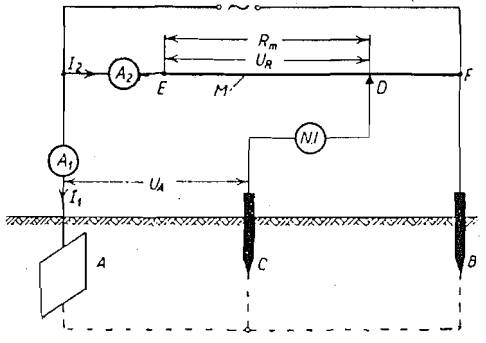
$$U_A = U_R$$

odnosno

$$I_1 R_A = I_2 R_m$$

odakle sledi

$$R_A = R_m \frac{I_2}{I_1} \qquad \ldots 2.14$$



A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
D: klizač
M: merna žica
N.I.: nulti indikator

Sl. 2.10 — Potenciometarska metoda

Pri merenju klizač treba pomerati sve dotle dok na nultom instrumentu ne postignemo minimum. Pročitavši vrednost na oba ampermetra i na mernoj žici, pristupamo zatim izračunavanju otpora uzemljivača.

Pošto tek čitanjem dobijamo traženi rezultat, ova metoda je za praksu neprikladna. Ukoliko sa mernom žicom postavimo na red promenljivi otpor kojim podesimo struju u mernoj žici na istu vrednost koju ima struja što protiče kroz zemlju, dobijamo za $I_1 = I_2$ rezultat

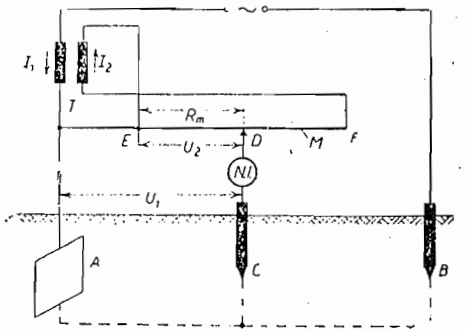
$$R_A = R_m \qquad \ldots 2.14a$$

U tom slučaju, traženu vrednost možemo direktno da pročitamo sa merne žice.

2.23.2. Behrendova metoda

Behrendova metoda (slika 2.11) predstavlja usavršenje potenciometarske metode, a ogleda se u tome što su oba strujna kola uključena preko strujnog transformatora, zbog čega su ampermetri nepotrebni, pošto su u tom slučaju struje u oba strujna kola u tačno određenom međusobnom odnosu.

Ova metoda omogućuje merenje otpora uzemljivača samo s jednim merenjem. Rezultat možemo da pročitamo direktno na skali kliznog otpora. Šema ima primarno i sekundarno strujno kolo koja su međusobno induktivno povezana preko strujnog transformatora T. U primarnom kolu se nalaze izvor struje napanja, primarna



A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
D: klizač
T: strujni transformator
M: merna žica
N.I.: nulti indikator

Sl. 2.11 — Behrendova metoda

strana transformatora i oba uzemljivača, ispitivani uzemljivač A i pomoćni uzemljivač B. U sekundarnom strujnom kolu je otpor poređenja u obliku merne žice EF u kojoj je merna struja srazmerna struji čija veličina zavisi od odnosa transformacije.

Struja kroz zemlju prouzrokuje između ispitivanog uzemljivača A i sonde C pad napona U_1 koga kompenzujemo odgovarajućim padom napona U_2 na mernoj žici. Pri merenju, zbog toga, klizač D pomeramo sve dotle dok nulti instrument ne prestane da pokazuje otklon. Tada je napon između ispitivanog uzemljivača A i sonde C jednak naponu U_2 na mernoj žici. Ako, dakle, primarnim strujnim kolom protiče struja I_1, a sekundarnim I_2 za slučaj ravnoteže važiće

$$I_1 R_A = I_2 R_m \qquad \ldots 2.15$$

gde je R_m otpor merne žice između tačke E i klizača D. Kada transformator ima odnos preobražaja 1 : 1 kroz otpor poređenja teći će ista struja kao i kroz zemlju ($I_1 = I_2$), usled čega za slučaj ravnoteže važi

$$R_A = R_m \qquad \ldots 2.15a$$

Pročitana vrednost na mernoj žici biće jednaka merenom otporu R_A uzemljivača A.

Merno područje moguće je menjati ako se uzme transformator sa nekoliko izvoda i time sa nekoliko različitih odnosa preobražaja. Tako, za odnos struja $I_1 = 0{,}1\ I_2$ ili $I_1 = 10\ I_2$ dobijamo da je $R_A = 0{,}1\ R_m$ ili $R_A = 10\ R_m$. Međutim, merno područje može da se menja i tako što se paralelno mernom otporu EF uključuju otpori različitih vrednosti.

Kod ove metode otpor pomoćnog uzemljivača B nije se u formulama uopšte pojavljivao, iz čega se može zaključiti da ovaj nema neposredni uticaj na tačnost merenja. Uticaj otpora pomoćnog uzemljivača kod većih vrednosti manifestuje se samo u smanjenju osetljivosti. Isto važi i za otpor sonde u slučaju ravnoteže bez struje, tako da njen otpor utiče samo na osetljivost merenja.

Ova metoda se i danas najčešće upotrebljava, tako da je našla primenu kod većine savremenih fabričkih mernih instrumenata.

2.24. Metoda poređenja

Kod metode poređenja (slika 2.12) potrebna su dva merenja. U prvom, kada je preklopka u položaju 0, merimo pad napona koji prouzrokuje struja I na mernom otporu R_m i uzemljivaču A.

$$U_1 = I(R_m + R_A) \qquad \ldots 2.16$$

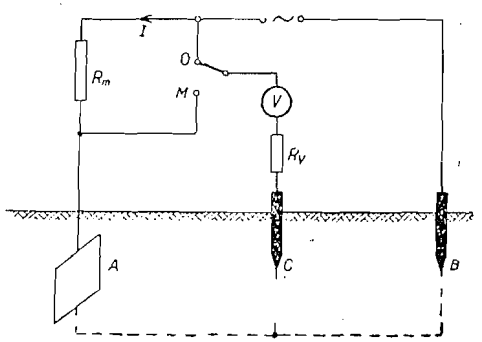
U drugom slučaju, kada je preklopka u položaju M, merimo samo pad napona na uzemljivaču A.

$$U_2 = I R_A \qquad \ldots 2.17$$

Otpor računamo iz jednačina 2.16 i 2.17.

$$R_A = R_m \frac{U_2}{U_1 - U_2} \qquad \ldots 2.18$$

Pošto je takav način određivanja otpora nepodesan ova metoda se upotrebljava za fabričke merne uređaje u nešto modifikovanom obliku. Najvažnija dopuna u tom smislu je stavljanje otpora R_V za promenljivi otpor. Pri prvom merenju menjamo R_V dotle dok se skazaljka na instrumentu ne zaustavi kod određenog znaka na skali. Pri drugom merenju, vrednost merenog otpora pročitamo neposredno na skali instrumenta koji je izbaždaren u omima.



A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
Rm: merni otpor
V: voltmetar
R v: predotpor voltmetra

Sl. 2.12 — Metoda poređenja

Za vreme merenja, inače, teče struja kroz sondu na isti način kao i kod metode merenja struje i napona. Ako je R_V dovoljno veliki otpor sonde ne utiče na merenje.

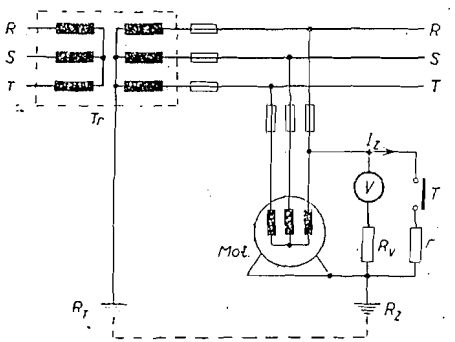
2.25. Određivanje otpora uzemljivača bez sonde i pomoćnog uzemljivača

U mrežama sa uzemljenim zvezdištem kontrolisanje zaštitnih uzemljenja je izvodljivo samo s jednim u tu svrhu podešenim voltmetrom, koga vezujemo po šemi sa slike 2.13. Na trofaznu mrežu koju napaja transformator, čije sekundarno zvezdište poseduje pogonsko uzemljenje, priključen je potrošač, na primer, elektromotor, čije je kućište vezano za zaštitno uzemljenje.

To uzemljenje možemo na jednostavan način da kontrolišemo tako što ćemo između provodnika jedne faze i kućišta, odnosno stezaljke za uzemljenje potrošača, da priključimo voltmetar V kojim merimo napon U_f između faznog provodnika i zemlje. Potom, za trenutak uključimo pomoću tastera T, uporedo s voltmetrom i otpor R (koji ima obično 20Ω, kako bi skala u području malih vrednosti otpora bila što razvučenija), kroz koji sada protiče struja I_z. Pad napona U_R na tom otporu R merimo voltmetrom. U tom slučaju je

$$U_R = I_z R \qquad \ldots 2.19$$

R_Z: otpor ispitivanog uzemljivača
R_T: otpor pogonskog uzemljivača transformatora
Tr: mrežni transformator
Mot: motor sa zaštitnim uzemljivanjem
T: taster
R: otpor opterećenja
V: voltmetar
R_V: predotpor voltmetra



Sl. 2.13 — Metoda bez sonde i pomoćnog uzemljivača

Struja I_z je zavisna od napona U_f kao i od otpora celokupnog strujnog kola, tako da je

$$I_z = \frac{U_f}{R_n + R_z + R} \quad \ldots 2.20$$

gde je

R_n = otpor koji obuhvata sve otpore u napojnom strujnom kolu kao i otpor pogonskog uzemljenja transformatora R_T;

R_z = otpor uzemljenja zaštitnog uzemljenja motora i

R = otpor opterećenja.

Ako pretpostavimo da je otpor R_n u poređenju sa R_z i R osetno manji, tako da ga možemo zanemariti*, onda je

$$I_z \doteq \frac{U_f}{R_z + R} \quad \ldots 2.20a$$

odnosno

$$R_z \doteq R\frac{U_f - U_R}{U_R} \quad \ldots 2.21$$

Takav način merenja unekoliko je nepodesan pošto za svaki rezultat treba izvesti račun. Ako je deo predotpora R_v promenljiv, merenje po toj metodi se može dosta pojednostaviti. U tom slučaju, podesimo pri prvom merenju, sa promenljivim delom otpora, otklon voltmetra na određenu vrednost na skali, na primer, na pun otklon, a pri drugom merenju merimo, isto tako kao i pre, napon U_R na otporu R. Tada je napon U_R na otporu R merilo za otpor zaštitnog uzemljenja. U slučaju idealnog uzemljenja, tj. kada je $R_z = 0$, voltmetar bi pokazivao puni napon U_f pošto bi ceo pad napona bio skoncentrisan na otporu R. Dakle, krajnji otklon voltmetra odgovara otporu uzemljenja 0 Ω. Ukoliko bi, međutim, veza sa uzemljenjem bila prekinuta voltmetar ne bi ništa pokazivao, što odgovara otporu od ∞ Ω. Međuvrednosti na skali otpora određujemo pomoću formule 2.21 i njih ucrtamo u skalu.

Ova metoda zbog pomenutih aproksimacija ne pruža tačnost kao ranije opisane. Isto tako, oscilacije mrežnog napona utiču na

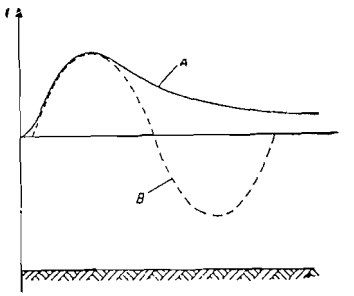
* To je svakako dozvoljeno samo pri solidno izvedenom uzemljenju transformatorskih stanica, o čemu se pre upotrebe ove metode treba uveriti.

merenje. U slučaju većih oscilacija mrežnog napona može, naročito pri merenju malih otpora, da dođe do većih grešaka. Ova metoda je pogodna jer je najjevtinija i ne zahteva pomoćne uzemljivače, a jako je ugodna za brza pogonska kontrolna merenja uzemljenih aparata i mašina.

Na kraju treba pomenuti i to da po toj metodi merimo otpor uzemljenja tj. otpor od uzemljenog potrošača do uzemljivača zaključno. Dakle, pored otpora rasprostiranja merimo i otpor provodnika.

2.26 Merenje strujom visoke učestanosti

Neke uzemljivače, a naročito uzemljivače gromobranskih instalacija, proveravamo i naizmeničnom strujom visoke učestanosti (nekoliko stotina kHz). Kod tih uzemljivača treba, naime, poznavati i njihov otpor pri strujnom udaru sa strmim čelom, kakve imamo za vreme atmosferskog pražnjenja. Pošto čelo takvog strujnog udara ima oblik sličan naizmeničnoj struji visoke učestanosti (slika 2.14), čija talasna dužina odgovara na neki način talasnom pojasu od hiljadu metara, to za merenje možemo da upotrebimo i struju visoke učestanosti. U takvim slučajevima obavljamo dva merenja: jedno uobičajenom strujom niske učestanosti, a drugo strujom visoke učestanosti. Ukoliko se pokaže da između oba rezultata nema bitnih razlika onda prilikom sledećih periodičnih kontrola možemo da se koristimo samo strujom niske učestanosti tj. uobičajenim instrumentima za merenje otpora uzemljivača. U protivnom, treba i kod periodičnih kontrola meriti strujom visoke učestanosti.



A: strujni udar atmosferskog pražnjenja
B: naizmenična struja visoke učestanosti

Sl. 2.14 — Poređenje strujnog udara atmosferskog pražnjenja sa naizmeničnom strujom visoke učestanosti

Za merenje strujom visoke učestanosti potreban je elektronski oscilator koji daje potrebnu naizmeničnu struju. Za nulti indikator u najviše slučajeva upotrebljava se pojačivač sa magičnim okom na izlazu. Merenje možemo da vršimo po bilo kojoj od opisanih metoda.

2.3. Opis nekih fabričkih merača za merenje otpora rasprostiranja uzemljivača

2.30. Opšte o meračima

Fabrički merači otpora rasprostiranja izrađeni su uvek u prikladnom obliku kako bi bili pogodni za merenja na terenu. Oni zato imaju ugrađen ručni generator naizmenične struje ili pak vibrator, odnosno u najnovije vreme tranzistorski pretvarač, koji jednosmerni napon džepne baterije pretvara u naizmenični napon, a koji potom transformator transformiše na potrebnu visinu. Međutim, postoje i izvedbe kod kojih je ugrađen ručni generator jednosmerne struje koju pomoću mehaničkog pretvarača na istoj osi pretvaramo u naizmeničnu. Svi ti pretvarači su nezavisni od tuđih izvora napajanja, tako da mogu da se upotrebe bilo gde na terenu.

Ručni generatori su obično tako napravljeni da ih treba okretati brzinom od 2 do 3 obrtaja u sekundi.

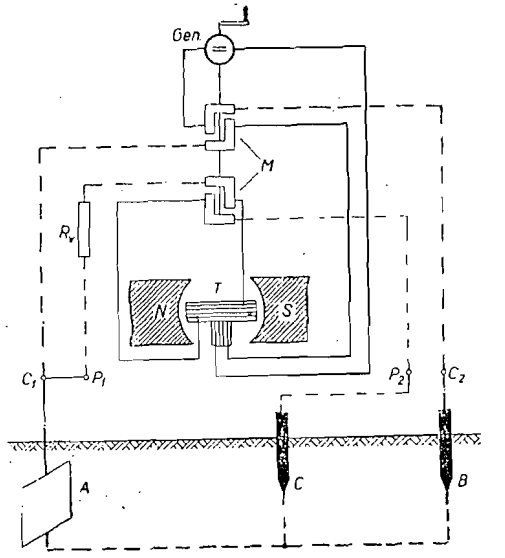
Visokofrekventni merači čine posebnu grupu. Potrebnu struju visoke učestanosti daje elektronski oscilator. Za njegovo delovanje, kao i za delovanje nultog indikatora sa magičnim okom, potrebni napon grejanja i anodni napon daju odgovarajuće baterije, za koje se obično predviđa u kućištu merača potreban prostor.

Nulti indikatori su potrebni kod svih nultih metoda za merenje otpora uzemljivača. Kako nulti indikator mora da bude električki vrlo osetljiv i mehanički što robustniji to su na meračima otpora kao indikatori dugo bile u upotrebi slušalice. Pošto je jednosmerni galvanometar znatno osetljiviji od slušalica, a uz to i pogodniji za rad jer pomoću položaja skazaljke možemo lakše odrediti ravnotežu negoli pomoću zvuka, to noviji tipovi merača imaju u većini slučajeva jednosmerne galvanometre za nulte indikatore. Stoga naizmeničnu struju treba ispred galvanometra, pomoću mehaničke ili suve usmerače, usmeriti.

2.31. Merači po metodi merenja struje i napona

2.31.1. Merač »Megger« firme Evershed & Vignoles Ltd. (Vel. Britanija)

Merač »Megger« je u suštini ommetar sa kvocientnim mernim sistemom. Merač ima, kao što to pokazuje slika 2.15, ugrađen magnetoelektrični kvocientni instrument s kalemima u obliku slova T. Jedan kalem je priključen na strujno kolo merača a drugi u naponsko kolo, tako da instrument meri otpor a skala je izbaždarena u omima. Pošto je u meraču ugrađen merni instrument za jednosmernu struju, to je za merenje otpora uzemljenja potrebna naizmenična struja. Taj problem je rešen na sledeći način. Merač ima ugrađen generator jednosmerne struje, koji na istom vratilu ima



Sl. 2.15 — Šema merača „Megger"

A: Ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
M: mehanički usmerač i rasmerač
Rv: predotpor
NS: polovi trajnog magneta
T: kalem u obliku slova T, sa strujnim i naponskim namotajem
Gen: Ručni generator jednosmerne struje
P_1P_2: naponske stezaljke merača
C_1C_2: strujne stezaljke merača

grupu kontakta za njeno prekidanje i usmeravanje. Na taj način generator proizvodi jednosmernu struju koja teče kroz strujne navoje mernog instrumenta, a zatim preko prekidača koji je pretvaraju u naizmeničnu. Ova struja, dalje, teče preko ispitivanog uzemljivača kroz zemlju do pomoćnog uzemljivača, a odatle preko gornje grupe kontakta, koji je pretvaraju u jednosmernu, nazad u generator. Naponski kalem priključen je preko donje grupe kontakta za usmeravanje na uzemljivač koji merimo i na sondu C. Na red sa naponskim kalemom vezan je predotpor R_v čiji je otpor tako izabran da se pri uobičajenim otporima sonde očitavanje vrši na skali sa tačnošću od $\pm$ 2%.

Merač čija je šema data na slici 2.15, ima 4 stezaljke, dve strujne C_1 i C_2 i dve naponske P_1 i P_2. Pri uobičajenim merenjima otpora, stezaljke C_1 i P_1 koje vezujemo na ispitivani uzemljivač A, spojene su, dok za merenje specifičnog otpora tla treba tu vezu odstraniti. Merači tog tipa (Series 1) imaju 4 merna područja (0 ... 1, 0 ... 10, 0 ... 100, 0 ... 1000 Ω) i pomoću njih je mogućno na dovoljno tačan način meriti i otpore reda 0,1 Ω. Skala ovih merača je praktično linearna.

Fabrika takođe izrađuje i manji tip merača (Series 2 ili Meg) koji nema naponske stezaljke posebno izvedene, pošto je jedan kraj kalema već u samom meraču priključen na strujnu stezaljku C_1 (koja je na meraču označena sa C_1P_1). Ovi merači su s jednim mernim područjem 0 ... 50 Ω ili sa dva merna područja 0 ... 20 Ω i 0 ... 200 Ω. Njihova skala je logaritamska.

Lutajuće struje ne utiču na merenje otpora navedenim metodama, pošto svaka struja mora da prođe kroz mehanički pretvarač. Ako je lutajuća struja jednosmerna, mehanički pretvarač, koga čini donja grupa kontakta, pretvara je u naizmeničnu, koja ne može da utiče na otklon mernog instrumenta jer je njena srednja vrednost ravna nuli. Ukoliko je lutajuća struja naizmenična, mehanički pretvarač može, doduše, da je pretvori u jednosmernu (pulsirajuću), ali samo onda kada je broj obrtaja pretvarača u sekundi jednak učestanosti naizmenične lutajuće struje i kada se trenutak prolaska struje kroz nultu vrednost poklapa s trenutkom prolaska četki s jedne polutke valjka pretvarača na drugu. Takva podudarnost je vrlo malo verovatna, a ako se i pojavi, možemo je izbeći povećanjem ili smanjenjem broja obrtaja pretvarača odnosno ručnog generatora. Tu podudarnost možemo opaziti ako se jave oscilacije skazaljke.

Postojanje lutajućih struja poznaćemo po tome što merni instrumenti pokazuju otklon čim smo ga priključili, iako generator još nismo počeli da vrtimo. Mada lutajuće struje kao što smo to upoznali ne utiču na merni rezultat, čim počnemo generator da vrtimo normalnom brzinom momenat od lutajuće struje nestaje.

Pošto kod ovih merača kroz sondu teče struja (iako mala) naponskog kola, to suviše veliki otpor sonde može da utiče na merni rezultat. Zbog toga njen otpor treba da bude što manji. Otpor sonde određujemo na taj način što sondu priključujemo na stezaljke ispitivanog uzemljivača, a ispitivani uzemljivač upotrebimo kao sondu.

Opisani merači se upotrebljavaju i kao ommetri. U tom slučaju i stezaljke C_2 i P_2 međusobno povezujemo, a zatim otpor koga želimo da merimo priključujemo između oba para stezaljki C_1 i P_1 i C_2 i P_2. Tako možemo da kontrolišemo, na primer, provodnike koji povezuju uzemljenje potrošača sa uzemljivačem.

2.31.2. Merač »Terromet« firme Metra (ČSR)

Merač »Terromet« radi na istom principu kao i merač »Megger« i isto tako ima kvocijentni instrument. Kod ovog merača, ispitivani uzemljivač priključujemo na stezaljku, naznačenu sa $\underline{\perp}$, sondu na stezaljku 1, a pomoćni uzemljivač na stezaljku 2. Merač ima jedno merno područje i to 0 ... 100 Ω.

2.31.3. Merač firme »OLIZ« (SSSR)

Na istom principu kao i merač »Megger« rade i merači koje izrađuje Otraslevaja laboratorija za merenje (OLIZ). Oni imaju tri merna područja 0 ... 3, 0 ... 30 i 0 ... 300 Ω.

2.32. Merači prema Wiechertovoj metodi

2.33.1. Merač firme Elektrotechnisches Laboratorium (Zap. Nemačka)

Merači firme Elektrotechnisches Laboratorium imaju kao izvor naizmenične struje vibrator koji pretvara jednosmernu struju

džepne baterije 4,5 V u naizmeničnu struju učestanosti oko 400 Hz. Za nulti indikator upotrebljene su slušalice.

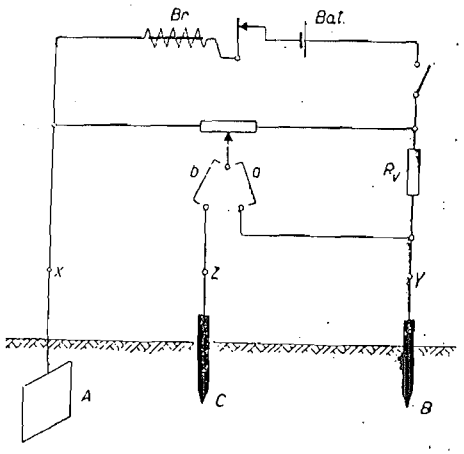
Pošto merač radi po Wiechertovoj metodi (sl. 2.16) potrebna su dva merenja. Uređaj je napravljen tako da preklopka nije potrebna, jer se to postiže na taj način što se slušalice prvo uključe u jedan par stezaljki a zatim u drugi. Pri prvom merenju slušalice su u položaju a. Obrtanjem dugmeta na promenljivom otporu most se dovede u ravnotežu. Kada zvuk u slušalicama nestane most je u ravnoteži i tada se na skali očitava vrednost a. Na isti način se dovodi most u ravnotežu kada su slušalice u položaju b, pa se i dobija rezultat b. Na osnovu obe očitane vrednosti dobijamo traženi otpor pomoću formule

$$R_A = b\frac{a+10}{b+10}\ \Omega. \qquad \ldots 2.22$$

Međutim, rezultat dobijamo još brže ako upotrebimo nomogram koji je priložen uz merač.

Pri merenju otpora uzemljivača, stezaljku X vežemo sa ispitivanim uzemljivačem, stezaljku Y sa pomoćnim uzemljivačem, a stezaljku Z sa sondom. Ako, međutim, hoćemo da merimo omski otpor, onda mereni otpor priključujemo između stezaljke X i Y, a slušalice stavimo u položaj a.

Merno područje mosta je 0,1 ... 500 Ω.



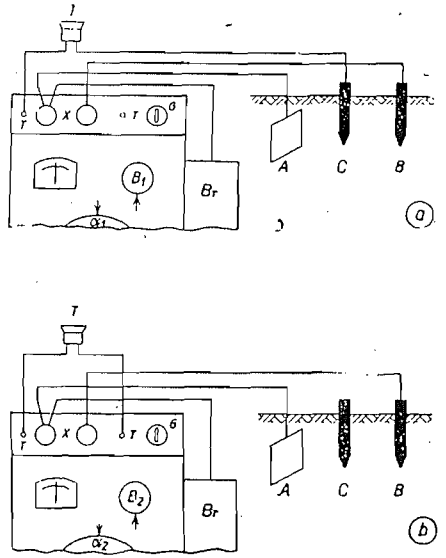
A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
X, Y, Z: stezaljke merača
a: prvi položaj slušalica
b: drugi položaj slušalica
Rv: predotpor
Bat: džepna baterija 4,5 V
Br: vibrator

Sl. 2.16 — Šema merača „Elektrotechnisches Laboratorium"

2.32.2. Upotreba mosta Pontavi-Wheatstone firme Hartmann & Braun (Zap. Nemačka) za merenje otpora uzemljivača

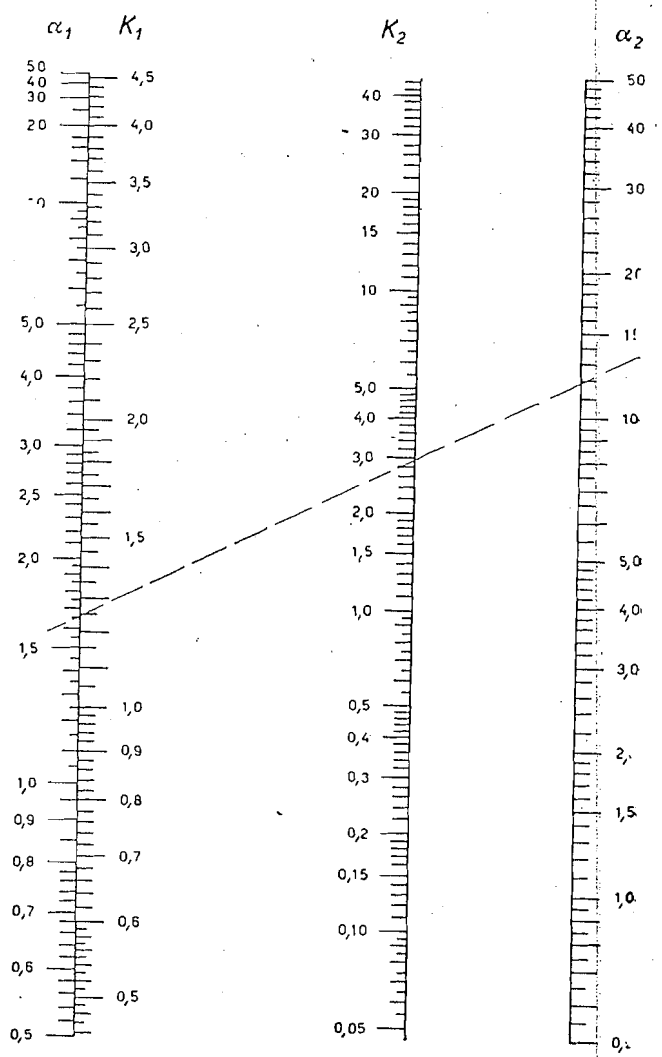
Priručni most za merenje otpora kao što je, na primer, Pontavi-Wheatstone, može da se upotrebi za merenje otpora uzemljivača po Wiechertovoj metodi ukoliko imamo dopunski uređaj koji je potreban za merenje otpora pri naizmeničnoj struji. Takav dodatni uređaj isporučuje fabrika, po porudžbini, zajedno s mostom, a u njemu se pored vibratora nalazi i prostor za džepnu bateriju.

Prilikom prvog merenja otpora uzemljivača most priključujemo na način kako to prikazuje slika 2.17 a. Vibrator B_r povežemo s levom stezaljkom X na koju priključimo i ispitivani uzemljivač A. Pomoćni uzemljivač priključujemo na desnu stezaljku X, a sondu preko slušalica na levu stezaljku T. Dugme na promenljivom otporu mosta okrećemo zatim sve dotle dok zvuk u slušalicama ne prestane i tada očitamo na skali vrednost a_1 za određeni položaj preklopke područja B_1.



A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
Br: vibrator
T: slušalice
T T: stezaljke za slušalice
X: stezaljke mosta
G: dugme za galvanometar (za to merenje se ne upotrebljava)
B_1: preklopka u prvom položaju
B_2: preklopka u drugom položaju
α_1: očitanje prvog merenja
α_2: očitanje drugog merenja

Sl. 2.17 — Priključivanje merača „Pontavi — Wheatstone"



Sl. 2.18 — Nomogram za određivanje otpora uzemljivača pri merenju mostom „Pontavi — Wheatstone"

α_1: očitanje prvog merenja
α_2: očitanje drugog merenja
K_1, K_2: koeficijenti iz obrasca 2.33

Pri drugom merenju (sl. 2.17 b) drugu stezaljku slušalicâ priključujemo umesto na sondu, na desnu stezaljku T. Kada most dovedemo u stanje ravnoteže dobijamo na skali mosta za određeni položaj preklopke B_2 vrednost a_2. (Kao što vidimo red merenja je obrnut u poređenju s razlaganjem principijelne šeme 2.22.2).

Otpor uzemljivača određujemo pomoću obrasca

$$R_A = \frac{5\alpha_1}{5+\alpha_1} B_1 + \frac{5\alpha_1}{5+\alpha_1} \cdot \frac{\alpha_2}{5} B_2 = K_1 B_1 + K_2 B_2 \ \Omega \qquad \ldots 2.23$$

Da bismo izbegli računanje, možemo se poslužiti nomogramom na slici 2.18 koji nam omogućava određivanje otpora uzemljivača sa približno ± 6% tačnosti, dok se računskim putem postiže tačnost od približno ± 4%.

Nomogram koristimo na sledeći način. Očitane vrednosti a_1 i a_2 povežemo pravom, posle čega možemo odmah da odredimo vrednosti K_1 i K_2. Te dve vrednosti pomnožimo koeficijentima B_1 i B_2 i dobijena suma nam daje mereni rezultat.

Prilikom korišćenja mosta treba obratiti pažnju i na to da se za vreme merenja ne pritiska dugme G u gornjem desnom uglu, čime bi inače uključili u strujno kolo jednosmerni galvanometar.

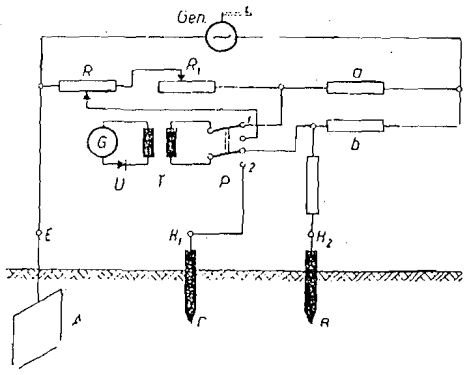
Kako ovaj način merenja ne pruža tačnost koju daju merači, za merenje otpora uzemljivača upotrebljavamo ga samo onda kada nemamo na raspolaganju posebni merač otpora uzemljivača.

2.33. Merači po Stösselovoj metodi

2.33.1. Merač firme Norma (Austrija)

Merač firme Norma radi prema nešto modifikovanoj Stösselovoj metodi, slika 2.19. Merač ima ugrađen ručni generator naizmenične struje. Za nulti indikator upotrebljen je galvanometar sa obrtnim kalemom. Zato se na istom vratilu s generatorom nalazi rotirajući mehanički usmerač U, koji usmerava naizmeničnu struju u dijagonalnoj grani mosta i na taj način omogućava primenu osetljivog galvanometra sa obrtnim kalemom. Galvanometar je pri-

uključen preko transformatora T kako bi se odstranio uticaj jednosmernih lutajućih struja. To se čini, kao i kod merača »Megger«, rotirajućom mehaničkom usmeračom.



A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
E_1, H_1, H_2: Stezaljke merača
P: preklopka sa položajima 1 i 2.
Gen: ručni generator naizmenične struje
U: mehanički usmerač na osi generatora Gen
G: nulti indikator (galvanometar)
T: transformator
R: otpor poređenja sa skalom
R_1: promenljivi otpor
a i b: otpori

Sl. 2.19 — Šema merača firme „Norma"

Prilikom merenja otpora uzemljivača tim mostom, najpre postavimo mernu preklopku P u položaj 1 — podešavanje; a zatim obrćemo generator i podešavamo otpor R_1, grubom i finom regulacijom, sve dotle dok galvanometar ne pokaže nulti otklon. Posle toga, preklopku prebacimo u položaj 2 — merenje, i menjamo otpor otpora za poređenje sve dotle dok most opet ne dovedemo u stanje ravnoteže. Kada galvanometar pokaže nulti otklon, očitamo rezultat na skali otpora R, uzimajući pri tom u obzir izabrano merno područje na preklopki područja.

Ukoliko želimo da merač prokontrolišemo, onda pomoću prekidača »kontrola« priključimo kontrolni otpor od 10 odnosno 20 Ω (zavisno od izvedbe) i ponovimo merenje na već opisani način. Pri tome, na skali otpora R moramo da dobijemo otpor kontrolnog otpora.

Merač možemo da upotrebimo i za merenje drugih vrsta otpora. U tom slučaju, otpor koji merimo treba da priključimo između stezaljke E »ispitivani uzemljivač« i stezaljki H_2 i H_1, za pomoćni uzemljivač i sondu koje prethodno međusobno povežemo. Posle

toga, merenje obavljamo na opisani način, pa u položaju preklopke 1 podesimo most, a zatim u položaju 2 očitamo rezultat na skali otpora R.

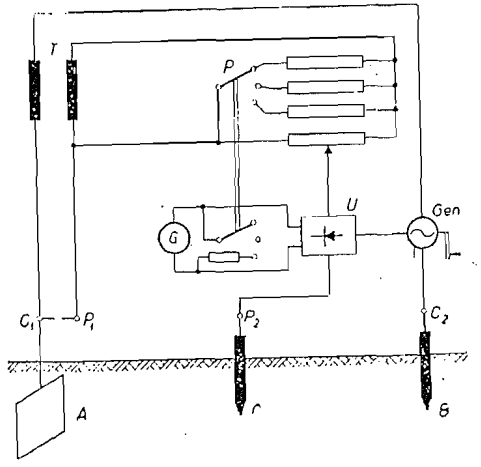
Fabrika izrađuje merače u dve izvedbe. Prva ima tri područja 0 . . . 10, 0 . . . 100 i 0 . . . 1000 Ω, a druga dva područja 0 . . . 25 i 0 . . . 250 Ω.

2.34. Merenje po kompenzacionoj metodi

2.34.1. Merač firme Siemens & Halske (Zap. Nemačka)

Siemensovi merači otpora uzemljivača rade po Behrendovoj metodi. Imaju ugrađen strujni generator koji napaja merno strujno kolo. Za nulti ugrađen strujni generator koji napaja merno strujno kolo. Za nulti instrument novije izrade upotrebljen je jednosmerni galvanometar, zbog čega se na istoj osi s generatorom nalazi kontaktna usmerača. Kod starijih modela upotrebljavan je specijalni ferodinamički nulti instrument tako da usmerača nije bila potrebna.

A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
C_1, C_2: strujne stezaljke merača
P_1, P_2: naponske stezaljke merača
T: transformator
Gen: ručni generator naizmenične struje
U: mehanički usmerač na osi generatora
G: nulti indikator (galvanometar)
P: preklopka za razna područja



Sl. 2.20 — Šema merača firme „Siemens & Halske"

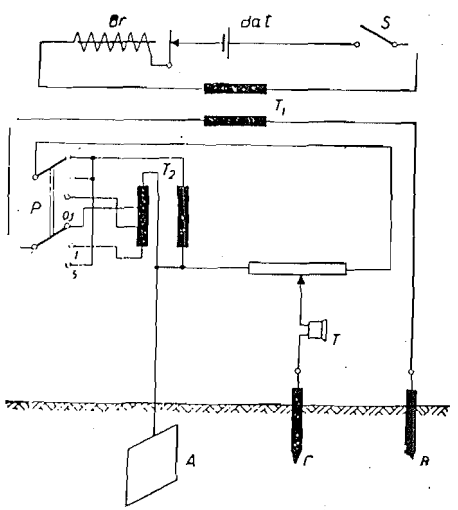
Merač prikazan na slici 2.20 ima četiri priključne stezaljke tako da njime možemo da merimo pored otpora rasprostiranja uzemljivača i specifični otpor zemlje. Pri merenju otpora uzemljivača kratko spojimo stezaljke C_1 i P_1. Postoji i model sa tri stezaljke kod koga je to spajanje izvedeno već u samom meraču.

Kod novijih modela merača merna područja možemo da prebacujemo (prema slici 2.20) na taj način što paralelno s mernim otporom priključujemo paralelne otpore. To se kod starijih modela postizalo transformatorom sa otcepima.

Kod običnih modela merna područja su 0 ... 10, 0 ... 100 i 0 ... 1000 Ω. Postoje i specijalni modeli sa područjima 0 ... 1, 0 ... 10 i 0 ... 100 Ω što omogućuje merenje s dovoljnom tačnošću i pri otporu uzemljivača ispod 0,1 Ω.

Što se tiče uticaja lutajućih struja, treba navesti da ih zbog delovanja kontaktnih usmerača odstranjujemo na sličan način kao i kod merača »Megger« (vidi poglavlje 2.31.1).

Navedene merače možemo da upotrebljavamo i za merenje običnih otpora. U tom slučaju treba povezati stezaljke C_1 i P_1 (ukoliko nisu povezane već u samom meraču) i stezaljke C_2 i P_2, a mereni otpor priključiti na parove stezaljki C_1P_1 i C_2P_2.



A: ispitivani uzemljivač
B. pomoćni uzemljivač
C: sonda
S: prekidač
Bat: džepna baterija
Br: vibrator
T_1: naponski transformator
T_2: Strujni transformator sa izvodima
P: preklopka za razna područja
T: slušalice

Sl. 2.21 — Šema merača firme „Siemens & Halske" (izvedba za slabu struju)

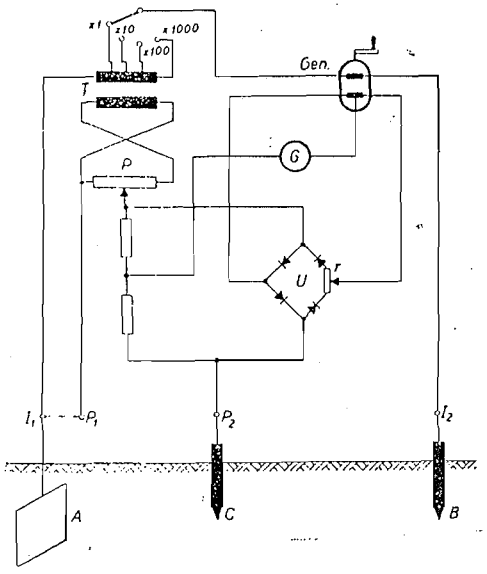
Sem navedenih merača s ručnim generatorom i galvanometrom kao nultim instrumentom, firma Siemens & Halske je izrađivala i jednostavnije merače, koji su pre svega namenjeni merenju otpora uzemljivača u uređajima slabe struje (slika 2.21). Ovaj merač ima umesto ručnog generatora vibrator koji se napaja preko džepne baterije. Dobijena pulsirajuća struja transformiše se u transformatoru tako da na sekundarnoj strani dobijamo naizmeničnu struju zahtevanog napona. Strujni transformator T_2 ima dva otcepa, a time i tri odnosa preobražaja 0,1; 1 i 5 te usled toga ovaj merač ima tri merna područja i to 0 ... 3, 0 ... 30 i 0 ... 150 Ω. Kao nulti indikator služi slušalica.

2.34.2. Merač firme C. P. Goerz (Austrija)

Ovaj merač, koji isto tako radi po Behrendovoj metodi, ima ugrađen ručni generator naizmenične struje učestanosti 300 Hz, a kao nulti instrument, jednosmerni galvanometar. Za usmeravanje naizmenične struje za nulti instrument je upotrebljena poluprovodnička usmerača vezana na poseban način sa spoljnim upravljanjem (vidi sl. 2.22!) koja omogućuje zamenu uobičajene kontaktne sigurnijom poluprovodničkom usmeračom. Specijalnim spojem i spoljnjim upravljanjem pomoću odgovarajućeg namotaja u generatoru, omogućeno je ipak da se iskoristi puna osetljivost koju ima galvanometar za jednosmernu struju. Potenciometar r je predviđen za postizanje simetrije usmeračke veze, pošto zbog starenja i velikih temperaturnih promena električna nula može da se pomakne.

Merenje ovim meračem obavlja se na isti način kao i u slučaju opisanom u poglavlju 2.34.1. Kada obrtanjem dugmeta na otporu za poređenje P postignemo nulti otklon galvanometra, očitamo na skali vrednost i odredimo otpor s obzirom na položaj preklopke za merna područja.

Merač ima četiri stezaljke tako da je omogućeno i merenje specifičnog otpora tla. Za promenu mernog područja strujni transformator ima na primarnoj strani tri otcepa tako da su merna područja merača 0 ... 5, 0 ... 50, 0 ... 500 i 0 ... 5000 Ω. Ovaj se merač, kao i drugi, upotrebljava i za merenje običnih otpora. Ali, on ima ugrađene i predotpore tako da može da se upotrebi i za merenje jednosmernog napona do 300 V, a naizmeničnih do 600 V.

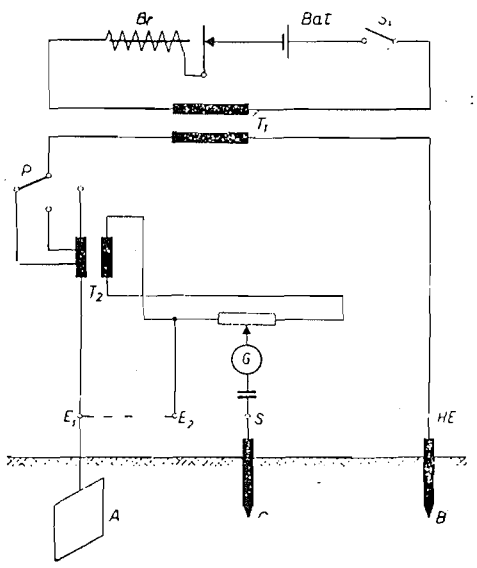


A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
I_1 i I_2: strujne stezaljke merača
Gen: ručni generator naizmenične struje
T: strujni transformator sa izvodima za razna područja
U: poluprovodnička usmerača
r: potenciometar za simetrisanje usmerače
G: nulti indikator (galvanometar)
P: otpor poređenja

Sl. 2.22 — Šema merača firme „C. P. Goerz"

2.34.3. Merač »Geohm« firme Gossen (Zap. Nemačka)

Merač »Geohm« ima za izvor naizmenične struje vibrator koji se napaja iz džepne baterije. Vibrator ima duple kontakte tako da jedan kontaktni član radi u smislu rasmeravanja, a drugi u smislu usmeravanja. Stoga, za nulti instrument može da se primeni jednosmerni galvanometar. Nulti instrument je od lutajućih struja zaštićen kondenzatorom u galvanometarskom kolu (vidi sliku 2.23!) iako već i sama kontaktna usmerača sprečava uticaj jednosmernih struja na merenje. Naizmenične lutajuće struje praktično isto tako ne mogu da utiču na merenje zbog sinhronog rada kontaktne usmerače, koja usmerava samo onu naizmeničnu struju koja ima istu učestanost i fazu. Pored toga, učestanost naizmenične struje koju daje vibrator nalazi se izvan područja uobičajenih tehničkih učestanosti. Ukoliko bi učestanost lutajućih struja bila samo neznatno



A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
E_1, HE: strujne stezaljke merača
E_2, S: naponske stezaljke merača
St: prekidač
Bat: džepna baterija 4,5 V
Br: vibrator
T_1: naponski transformator
T_2: strujni transformator sa izvodima za razna područja
P: preklopka za razna područja
G: nulti indikator (galvanometar)

Sl. 2.23 — Šema merača „Geohm" firme „Gossen"

u blizini učestanosti merne struje, onda bi posle postizanja ravnoteže skazaljka galvanometra počela da osciluje oko nulte tačke. Ako su otkloni na obema stranama podjednako veliki, izvršeno merenje je dovoljno tačno.

Merač ima četiri stezaljke tako da može da se upotrebi i za merenje specifičnog otpora tla. Pri normalnom merenju otpora uzemljenja stezaljke E_1 i E_2 povežemo međusobno, a zatim na njih priključujemo ispitivani uzemljivač. Pri merenju običnih otpora povežemo i stezaljke S i HE, a zatim priključimo između oba para stezaljki otpor čiju vrednost želimo da izmerimo.

Radi proširenja mernog područja merač ima na strujnom transformatoru otcepe. Merna područja su 0...5, 0...50 i 0...500 Ω.

2.34.4. Merač firme Chauvin Arnoux (Francuska)

Merač ima ugrađen ručni generator koji daje naizmeničnu struju učestanosti 150 Hz. Generator ima regulator brzine tako da njegov broj okretaja ne zavisi, za određeno područje, od broja okre-

taja ručice. Na istoj osi s generatorom je mehanička usmerača koja usmerava struju galvanometarskog kola, i koja omogućuje upotrebu jednosmernog galvanometra. Merač je zaštićen od jednosmernih lutajućih struja kondenzatorom u galvanometarskom kolu (kao i kod 2.34.3), a uticaj naizmeničnih lutajućih struja eliminisan kontaktnom usmeračom (vidi 2.31.1 i dr.!).

Pri merenju otpora uzemljivača priključujemo ispitivani uzemljivač na stezaljku X, sondu na stezaljku Y, a pomoćni uzemljivač na stezaljku Z. Ukoliko, međutim, želimo da merimo otpor običnih otpora, onda spojimo stezaljku Y i Z, a merni otpor uključimo između stezaljke X i para stezaljki YZ.

Merač ima dva područja 0...10 i 0...100 Ω, zbog čega na strujnom transformatoru ima otcep. Ako otpor sonde odnosno pomoćnog uzemljivača nije veći od 10 000 Ω onda ovaj merač postiže tačnost merenja od ± 1%.

Ista fabrika izrađuje i merače nazvane »Tellurophone« koji doduše imaju manju tačnost (oko 4%) ali su zato jednostavniji i jevtiniji. Za nulti indikator upotrebljene su slušalice, a za izvor naizmenične struje postoji vibrator koga napaja džepna baterija. Ovaj merač se pre svega predviđa za kontrolna merenja, kad je dovoljna i manja tačnost.

2.34.5. Merač firme Compagnie des compteurs Montrouge (Francuska)

Merač otpora uzemljivača, proizvod firme Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, u Montrougeu, takođe radi po Behrendovoj metodi. I ovaj merač ima ugrađen ručni generator naizmenične struje s kontaktnom usmeračom na istoj osi, tako da jednosmerni galvanometar može da posluži kao nulti indikator.

Merno područje merača je 0...200 Ω, a skala je logaritamska, tako da je moguće određivati otpore s tačnošću od 1 Ω. Kod većih otpora, međutim, relativna tačnost očitavanja je manja. Za kontrolu merača ugrađen je otpor od 20 Ω, koga možemo da uključimo pritiskom na dugme K. Kada je merač ispravan, očitamo na skali ovu vrednost.

Pri merenju otpora uzemljivača, priključujemo uzemljivač na stezaljku T, sondu na stezaljku A, a pomoćni uzemljivač na stezaljku B.

U pogledu zaštite od lutajućih struja, važi sve što je rečeno u poglavlju 2.34.4.

2.34.6. Merač firme LETI (SSSR)

I ovaj merač, proizvod Lenjingradskog elektrotehničkog instituta — LETI (SSSR), ima za izvor naizmenične struje ručni generator s kontaktnim članom na istoj osi koji služi za usmeravanje struje u kolu galvanometra. Galvanometar je priključen u merni strujni krug preko transformatora.

Merač ima tri merna područja 0...2,5; 0...25 i 0...250 Ω. U tu svrhu na strujnom transformatoru nalazi se odgovarajući broj otcepa.

Pri merenju otpora uzemljivača priključujemo ispitivani uzemljivač na stezaljku 1, sondu na stezaljku 2, a pomoćni uzemljivač na stezaljku 3. Pri merenju običnih otpora, priključujemo mereni otpor između stezaljke 1 i 2, a stezaljke 2 i 3 vežemo kratko. Pri merenju uzemljivača, otpor sonde odnosno pomoćnog uzemljivača ne treba da prekorači vrednost od 2000 Ω.

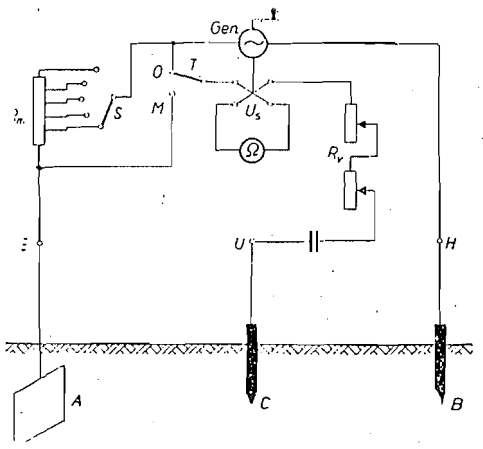
2.34.7. Merač firme Elektronika (SFRJ)

Merač firme Elektronika u Zadru radi isto tako na principu Behrendove metode, ali se od ostalih opisanih tvorničkih aparata razlikuje po tome što ima kao izvor naizmenične struje ugrađen savremeni tranzistorski pretvarač. Ovaj pretvara jednosmerni napon baterije u naizmenični, koji se transformira na potrebnu visinu i koji napaja strujni krug uzemljivača. Kao nulti indikator je instrumenat sa zakretnim svitkom.

2.35. Merači po metodi poređenja

2.35.1. Merač »Terrafix III« firme Metrawatt (Zap. Nemačka)

Kod merača »Terrafix III« merne rezultate očitavamo neposredno na skali ugrađenog mernog instrumenta. Merač ima ugrađen ručni generator naizmenične struje učestanosti oko 93 Hz, koja teče



A: ispitivani uzemljivač
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda
E, U, H: stezaljke merača
R: merni otpor
R_v: predotpor
U_s: rotirajući mehanički usmerač
Ω: merni instrument baždaren u Ω
T: preklopka
O: prvi položaj preklopke
M: drugi položaj preklopke
S: preklopka za razna područja
Gen: ručni generator naizmenične struje

Sl. 2.24 — Šema merača „Terrafix III" firme „Metrawatt"

u glavnom strujnom kolu u kojem se nalazi merni otpornik R_m (slika 2.24) sa više otcepa, pomoću kojih može se menjati merno područje. U strujnom kolu sonde nalazi se merni instrument sa obrtnim kalemom s kojim je na red priključen predotpor R_v za grubu i finu regulaciju. Za usmeravanje naizmenične struje predviđen je rotirajući mehanički usmerač koji se nalazi na osi ručnog generatora.

Merenje se obavlja na sledeći način. Prvo, u položaju 0 preklopke T podesimo menjanjem otpora R_v skazaljku na određeni znak na skali (označen slovom K). Zatim u položaju preklopke M očitamo iznos otpora na skali mernog instrumenta koji je direktno izbaždaren u omima. Pri određivanju vrednosti očitavanja treba svakako uzeti u obzir i položaj preklopke u području S.

Uticaj lutajućih struja je odstranjen na sličan način kao i kod većine do sada opisanih merača; kondenzator u strujnom kolu sonde sprečava uticaj jednosmernih struja, a usmeravanje s mehaničkom usmeračom na osi ručnog generatora isključuje uticaj naizmeničnih lutajućih struja.

Fabrika izrađuje dve vrste merača. Stariji tip ima tri stezaljke, od kojih za stezaljku E vežemo ispitivani uzemljivač, na stezaljku U sondu, a na stezaljku H pomoćni uzemljivač. Noviji tip ima, međutim, četiri stezaljke te je njime moguće meriti i specifični otpor tla.

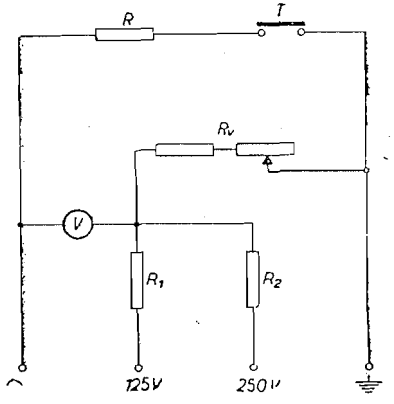
Merač ima pet mernih područja i to: 0 ... 2, 0 ... 10, 0 ... 100, 0 ... 1000 i 0 ... 10 000 Ω. Skala mernog instrumenta ima dužinu oko 70 cm i kod tipa sa tri stezaljke je približno logaritamska, a kod tipa sa četiri stezaljke (tip JTs) linearna.

Maksimalno dozvoljeni otpor pomoćnog uzemljivača zavisi od mernog područja. Za najniže merno područje ovaj ne sme da bude veći od 50 ... 200 Ω, a za najviše se dozvoljava vrednost i do nekoliko hiljada pa čak i deset hiljada oma. Otpor sonde nema uticaja na mereni rezultat, pa zbog toga i on može da bude vrlo veliki.

2.36. Ostali tipovi merača otpora uzemljivača

2.36.1. Instrument za kontrolu uzemljenja »Iskra«

Instrument za kontrolu uzemljenja, proizvod fabrike »Iskra« predviđen je pre svega za kontrolna merenja uzemljivačkog otpora. Kako za merenje tim meračem sonda i pomoćni uzemljivač nisu potrebni, to je on neobično pogodan, na primer, za kontrolna merenja pojedinih uzemljenih aparata i mašina u fabrikama. Merač priključujemo tako što krajnju levu stezaljku (sl. 2.25) vežemo za neku od faza (vidi sliku 2.12!), a krajnju desnu stezaljku za kućište uzemljenog potrošača, na primer, motora. Merni instrument će nam dati neki otklon koji će biti u zavisnosti od napona prema ze-



T: taster
R: otpor
V: voltmetar sa skalom u Ω i V
RV: promenljivi otpor
R_1: predotpor za područje 125 V
R_2: predotpor za područje 250 V

Sl. 2.25 — Šema merača fabrike „Iskra"

mlji. Zatim promenljivim otpornikom R_v podesimo otklon skazaljke na vrednost O, pritisnemo na dugme T (pritisak sme da traje najviše tri sekunde, pošto otpornik R nije dimenzionisan za duže opterećenje) i očitamo na skali instrumenta otpor uzemljenja.

Pored otporne skale, označene u omima, data je i skala s nazivnim vrednostima osigurača u faznom provodniku koje se dozvoljavaju kod pojedinih otpora uzemljenja kao maksimalne. Vrednosti se određuju pomoću obrasca:

$$R_z = \frac{U_f}{2{,}5\, I_o} \qquad \ldots 2.24$$

odnosno

$$I_o = \frac{U_f}{2{,}5\, R_z} \qquad \ldots 2.24\,a$$

gde je

R_z = otpor uzemljenja,
U_f = fazni napon i
I_o = nazivna struja osigurača.

Merač može da se upotrebljava i kao voltmetar za naizmenični napon 125 i 250 V za šta su predviđene srednje dve stezaljke.

2.4. Merenje otpora pojedinih vrsta uzemljivača

2.41. Merenje otpora dubinskih uzemljivača

Za merenje otpora dubinskih uzemljivača upotrebljavamo gotovo isključivo fabričke merače koji su svi tako izrađeni da su što pogodniji za terenski rad i da omogućuju što brže merenje. I njihova merna područja su tako izabrana da obuhvataju celo područje otpora dubinskih uzemljivača. U pogledu rastojanja do sonde odnosno do pomoćnog uzemljivača, moramo da se držimo tačke 2.12.

Pošto se površina zatvaranja proteže manje-više podjednako na sve strane oko uzemljivača, praktično je svejedno u kojem ćemo pravcu od uzemljivača da postavimo sondu i pomoćni uzemljivač.

2.42. Merenje otpora trakastih uzemljivača

I za merenje trakastih uzemljivača upotrebljavamo gotovo isključivo fabričke merače, tako da u tom pogledu nema ničeg naročito novog. Treba samo upozoriti na to da kod trakastih uzemljivača nije svejedno u kom smeru postavljamo sondu i pomoćni uzemljivač. Poznato je, naime (vidi [2.33]), da je naponski levak trakastih uzemljivača izdužen, usled čega je i površina zatvaranja izdužena. Stoga treba pri merenju otpora trakastih uzemljivača sondu i pomoćni uzemljivač postaviti pod pravim uglom na pravac uzemljivača ili pak u suprotnom smeru od uzemljivača.

U slučaju da položaj trakastog uzemljivača nije poznat ili da ga samo pretpostavljamo, onda treba izvršiti dva merenja u dva različita smera pomerena za 180°, a zatim uzeti u obzir veći rezultat.

2.43. Merenje otpora većih površinskih uzemljivača

Merenje većih površinskih uzemljivača, kakve srećemo u elektranama, transformatorskim i distributivnim stanicama (naročito u slučajevima kada je zvezdište direktno uzemljeno), predstavlja poseban problem. Prvo, otpori većih površinskih uzemljivača vrlo su mali i iznose jedva nekoliko desetnina ili čak nekoliko stotnina oma, a drugo, površine zatvaranja su vrlo velike. Tako, na primer, kod srednje velikog površinskog uzemljivača čije dimenzije iznose 200 × 300 m a srednji prečnik D 275 m, sondu treba postavit na rastojanju od bar 1,4 km kako bi bila na udaljenosti koja je bar p e t o s t r u k o veća od prečnika površine koju obuhvata uzemljivač.

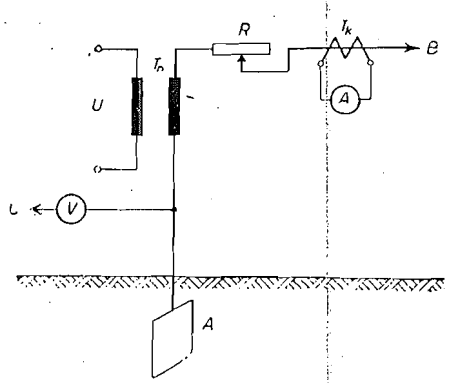
Pri merenju otpora tako velikih uzemljivača, fabrički merači ne mogu da zadovolje, jer većina od njih ima na skali ispod 1 Ω tako mali opseg da je tačno merenje otpora reda veličine nekoliko desetnina ili čak stotnina oma neizvodljivo. Kada je reč o izuzetno velikim uzemljivačima, nailazimo na teškoće i kod onih merača koji su predviđeni za merenje tako malih vrednosti otpora. Zato otpore rasprostiranja većih uzemljivača merimo najčešće pomoću metode merenja struje i napona.

Za merenje otpora rasprostiranja većih površinskih uzemljivača pomoću metode struje i napona koristimo, između mernog i pomoćnog uzemljivača, struju od oko 100 A, kako bi se na uzemljivaču, koga merimo, javio pad napona koji je prikladan za merenje voltmetrom. Osim toga, tako velika struja je potrebna i zato da bismo odstranili u što većoj meri uticaj drugih struja, koje u takvim postrojenjima mogu da budu veoma intenzivne i čak veće od mernih struja.

Radi toga, za merenja koristimo odgovarajuće veliki izvor struje napajanja koga biramo s obzirom na uslove predela. Najviše odgovara transformator za napone do približno 100 V sa otcepima kojima može da se podesi struja na odgovarajuću vrednost. Takav transformator mora da bude dovoljno veliki (bar 10 kVA) kako bi mogao da dâ struju do oko 100 A. Ukoliko takvim transformatorom ne raspolažemo možemo se poslužiti onima koji se upotrebljavaju za mrežu, na primer, od 10/0,4 kV. Ukoliko je napon takvog transformatora veliki možemo u strujno kolo da vežemo na red promenljivi otpor koji mora na svaki način da bude za to odgovarajuće dimenzionisan. U tu svrhu može da se upotrebi improvizovan vodeni otpor.

Pošto, kako smo rekli, kod većih površinskih uzemljivača sondu i pomoćni uzemljivač moramo da postavimo vrlo daleko, to su potrebne i velike količine provodnika većeg preseka. Umesto toga, kao provodnici, između pomoćnog uzemljivača i sonde, koriste se postojeći vodovi niskog i visokog napona — što zavisi od situacije na terenu. U takvom slučaju je najpogodnije iskoristi za pomoćni uzemljivač pogonsko uzemljenje susedne transformatorske stanice koja mora da bude dovoljno dimenzionisana da odvodi tako veliku struju u zemlju. Ukoliko je postojeće uzemljenje slabo treba ga do odgovarajuće vrednosti pojačati, na primer, sa 10 do 20 cevi prečnika 1 cola na međusobnom rastojanju od 3 m. Cevi treba da

A: veliki površinski uzemljivač koga ispitujemo
B: dovod (dalekovod) ka pomoćnom uzemljivaču
C: dovod (dalekovod) ka sondi
T_n: napojni transformator
T_k: strujni transformator za ampermetar
U: primarni napon napojnog transformatora
R: promenljivi otpor



Sl. 2.26 — Merenje otpora rasprostiranja većih površinskih uzemljivača pomoću metode merenja struje i napona

budu tako postavljene da zajedno čine više ili manje jednostrani mnogougao. Kada, međutim, nemamo na raspolaganju dva voda, ili pak kada dva voda idu paralelno u velikoj blizini, zbog čega bi međusobni induktivni uticaj bio veliki, upotrebljavamo za dovod do pomoćnog uzemljivača dalekovod, a za dovod do sonde postavljamo izolovani provodnik s presekom od oko 4 mm². Ako vod do pomoćnog uzemljivača ima gromobransko uže, treba ga pre merenja prekinuti u susednoj stanici. Ako to iz bilo kojih razloga nije izvodljivo, treba ga prekinuti bar na 10 stubova ispred stanice čiji uzemljivač merimo.

Šema za merenje otpora uzemljivača na opisani način prikazana je na slici 2.26. gde je A površinski uzemljivač. U sekundarnom kolu transformatora (mernom strujnom kolu) nalazi se promenljivi otpor R, kojim možemo, po potrebi, struju da podešavamo na potrebnu vrednost, ako transformator nema odgovarajućih otcepa.

Napon između ispitivanog uzemljivača i zemlje koja ga okružuje tj. sonde izvan površine zatvaranja, treba meriti voltmetrom s velikim unutrašnjim otporom, po mogućnosti elektronskim voltmetrom, čije merno područje treba da bude dovoljno veliko (negde između 0,5 i 250 V i više stupnjeva) kako bi isti voltmetar mogli da upotrebimo za merenje napona dodira i koraka, kao i za merenje raspodele potencijala. Za merenje je najpogodnije da elektronski voltmetar radi na baterije i da je izrađen tako da može da se nosi na leđima ili u torbi.

Da bismo smanjili induktivni uticaj napojnog voda na dovod do sonde, treba vod koji ide do sonde da stoji pod pravim uglom na smer voda do pomoćnog uzemljivača. Ako to nije izvodljivo, neka taj vod bude bar dovoljno udaljen. Isto tako, taj vod mora da bude na dovoljnom rastojanju od drugih vodova koji idu paralelno.

Ukoliko za dovod do sonde upotrebimo postojeći vod, možemo za sondu iskoristiti uzemljivač jednog od stubova koji nose te vodove. Pri tome, stub čiji uzemljivač upotrebljavamo za sondu mora da bude izolovan od gromobranskog užeta.

Otpor uzemljivača računamo po obrascu 2.04 uz pomoć podataka koji se dobijaju iz merenja na način koji smo već opisali. Ukoliko je lokalna situacija na terenu takva da induktivne uticaje susednih vodova i druge struje na već opisane načine nije moguće odstraniti, potrebna su dopunska merenja, koje ćemo izneti prilikom obrade merenja raspodele potencijala (poglavlje 2.51).

Pri opisanom načinu merenja otpora uzemljivača treba obratiti pažnju i na to da zbog merenja naponima iznad 100 V može doći u pojedinim predelima do visokih napona dodira odnosno koraka, zbog čega treba preduzeti sve potrebne mere za obezbeđenje osoblja, tj. treba pre nego što se počne s merenjem zabraniti na području oko uzemljivača pristup nepozvanim licima.

2.44. Merenje otpora uzemljenja gromobranskog užeta i dalekovodnih stubova

Otpor uzemljenja gromobranskog užeta na dalekovodu merimo na stubu na kom želimo da odredimo otpor uzemljenja celokupnog gromobranskog užeta. Kada bi svi stubovi dalekovoda imali istu vrednost otpora uzemljenja, tada bismo dobili svuda — osim na poslednjih 20—30 stubova na kraju voda — istu vrednost. Međutim, otpori uzemljenja pojedinih stubova su različiti, tako da mogu da se osetno razlikuju od srednje vrednosti.

Pri merenju ovih uzemljenja posebnu pažnju treba obratiti na vrlo veliku prostranost uređaja za uzemljenje, koji se proteže od početka do kraja dalekovoda. Stoga nije dovoljno pri merenju postaviti sondu na 20 m, a pomoćni uzemljivač na 40 m od dalekovoda. Sondu i pomoćni uzemljivač treba postaviti u smeru pod pravim uglom na dalekovod na znatno većem rastojanju. Tako, na primer, za čelično gromobransko uže preseka 95 mm², za otpor uzemljivača pojedinog stuba od 10 Ω i pri rastojanju između stubova od 330 m, potencijal na rastojanju od jednog razmaka između stubova pod pravim uglom iznosi 13% napona uzemljivača, a na rastojanju od dva razmaka između stubova bar 9%. Ukoliko je gromobransko uže od aluminijuma, na primer, preseka 150 mm², struja greške se širi dalje duž dalekovodnog užeta, tako da potencijal na rastojanju od dva razmaka između stubova pod pravim uglom na smer dalekovoda iznosi do 33% napona uzemljivača [2.1].

Pri takvim merenjima, biće nam, dakle, otežano da postavimo sondu na dovoljnom rastojanju od dalekovoda. Stoga vršimo merenje sa sondom i pomoćnim uzemljivačem na manjem rastojanju, a izmerenoj vrednosti treba, s obzirom na vrstu gromobranskog užeta, dodati još i neki dodatak.

Ukoliko se, međutim, zahteva merenje otpora uzemljivača za svaki stub pojedinačno onda treba vezu sa ostalim uzemljivačima tj. vezu sa gromobranskim užetom na stubu koga merimo odstraniti, a zatim izvršiti merenje otpora uzemljivača na uobičajeni način; pri tome i sonda i pomoćni uzemljivač mogu se postaviti na uobičajenom rastojanju. Preporučuje se da se kod čeličnih i betonskih stubova sa betonskim temeljima meri, pored zajedničkog otpora rasprostiranja stuba sa uzemljivačem, odvojeno i otpor rasprostiranja uzemljivača, prekidajući pri tom vezu uzemljivača sa stubom.

Prekidanje veze sa gromobranskim užetom na stubu obično je povezano sa teškoćama. Zbog toga je za merenje otpora uzemljivača dalekovodnih stubova mnogo prikladnija metoda [2.9] koju su nedavno razvili u Italiji i koja omogućava merenje otpora uzemljivača za svaki stub posebno bez potrebe prekidanja veze sa gromobranskim užetom. Metoda se zasniva na primeni udarnih talasa, pri čemu je za indikator upotrebljena katodna cev.

2.5. Određivanje raspodele potencijala oko uzemljivača

2.50. Opšte

Kod većih površinskih uzemljivača koja se primenjuju, na primer, u transformatorskim stanicama visokonaponskih mreža sa direktno uzemljenim zvezdištem, treba meriti osim otpora uzemljivača i potencijal u pojedinim tačkama oko uzemljivača i odrediti gde su najopasnija područja gde se javlja veoma veliki napon koraka, kao i gde treba eventualno primeniti posebne mere za povećanje sigurnosti. Kako se u takvim postrojenjima mogu javiti vrlo velike struje zemljospoja (nekoliko hiljada ampera), koje imaju za posledicu velike napone uzemljivača čak i ako su ovi sa malim otporom, to treba prekontrolisati ceo teren i okolinu gde su postavljeni pojedini delovi uzemljivača.

Ta merenja vršimo uvek sa manjom strujom od struje zemljospoja, tako da pri merenju dobijamo znatno niže napone negoli u slučaju zemljospoja.

Zato je sondu teško postaviti na dovoljno velikom rastojanju od dalekovoda da bismo pri merenju dobili i znatno niže napone nego što je to slučaj pri pojavi struje zemljospoja. Stoga treba izmerenu vrednost, s obzirom na računski dobijenu struju zemljospoja, preračunati na stvarne vrednosti, pomoću relacije

$$U_z = U_m \frac{I_z}{I_m} \qquad \ldots 2.25$$

gde je

U_z = napon u proizvoljnoj tački pri struji zemljospoja I_z.
U_m = napon u istoj tački za slučaj merenja strujom I_m.

Za praksu je važniji podatak koliki je napon u pojedinim tačkama oko uzemljivača u poređenju s naponom uzemljivača, jer nam te relativne vrednosti daju neposrednu sliku o opasnim područjima. Zato rezultate merenja napona u pojedinim tačkama obično ne izražavamo u voltima već u procentima napona uzemljivača U_{oz}

$$U_m(\%) = \frac{U_m}{U_{ozm}} \cdot 100 \qquad \ldots 2.26$$

gde je

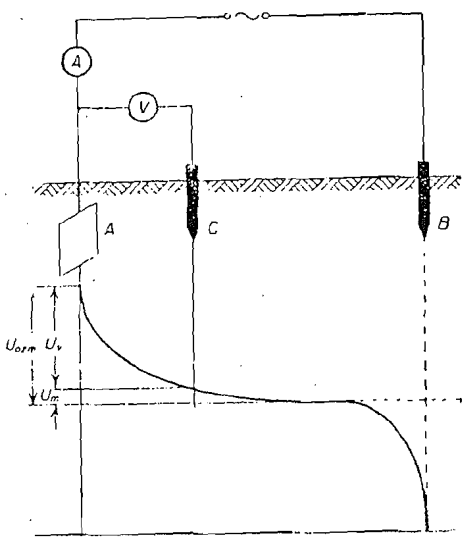
U_{ozm} = napon uzemljivača za slučaj struje merenja.

Ako nam je poznat napon uzemljivača pri mernoj struji, merna struja i struja zemljospoja, onda napon u proizvoljnoj tački pri struji zemljospoja određujemo pomoću formule

$$U_z = \frac{U_m(\%)}{100} I_m R_{oz} \frac{I_z}{I_m} = \frac{U_m(\%)}{100} R_{oz} I_z \qquad \ldots 2.27$$

2.51. Određivanje raspodele potencijala voltmetrom

Raspodelu potencijala u okolini uzemljivača najčešće merimo voltmetrom, koga, uključujemo prema slici 2.27. U tu svrhu, između ispitivanog i pomoćnog uzemljivača stavimo naizmenični napon čiju visinu podesimo tako da struja kroz uzemljivač bude takvog intenziteta da stvori na otporu rasprostiranja ispitivanog uzemljivača dovoljno veliki pad napona, da bismo ga mogli izmeriti voltmetrom. Ta struja iznosi obično oko 100 A, kao i pri merenju otpora uzemljivača, zbog čega to merenje obavljamo zajedno s merenjem otpora rasprostiranja (poglavlje 2.43).



Sl. 2.27 — Određivanje raspodele potencijala

A: uzemljivač oko kojeg određujemo raspodelu potencijala
B: pomoćni uzemljivač
C: sonda koju pomeramo i kojoj određujemo potencijal
U_{ozm}: napon uzemljivača za mernu struju
U_v: napon prema zemlji u tački u kojoj određujemo potencijal
U_m: potencijal u merenoj tački (= napon između merene tačke i neutralne okoline)

Kada smo struju podesili na potrebnu jačinu, onda između ispitivanog uzemljivača i pojedinih tačaka oko uzemljivača izmerimo napon U_v, na osnovu čega možemo da odredimo

$$U_m = U_{ozm} - U_v$$

odnosno

$$U_m(\%) = \frac{U_m}{U_{ozm}} \cdot 100 = \frac{U_{ozm} - U_v}{U_{ozm}} \cdot 100 \qquad \ldots 2.28$$

Ako sondu postavimo izvan površine zatvaranja i merimo napon između sonde izvan površine zatvaranja i sonde koju pomeramo,

onda možemo da merimo napon U_m i neposredno. Međutim, takav način merenja je manje podesan jer obično treba snimati raspored potencijala samo u blizini uzemljivača.

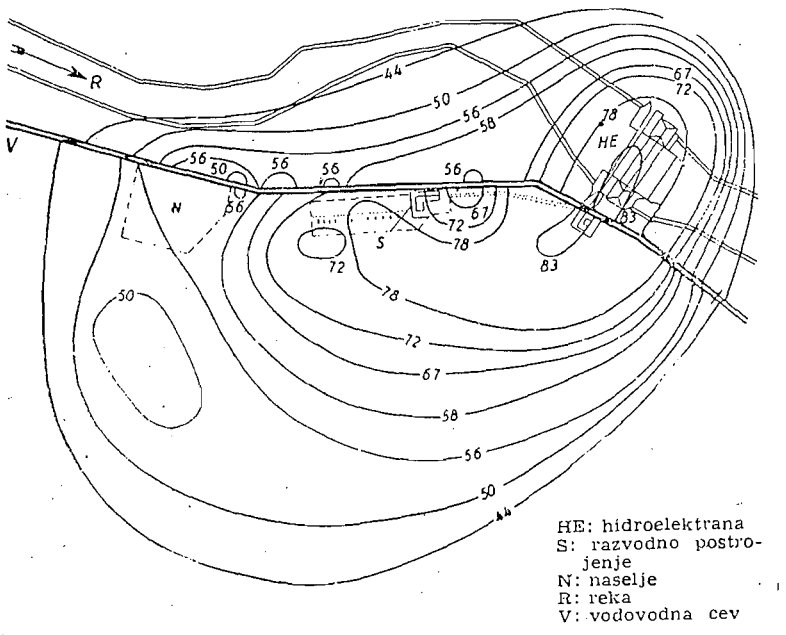
Pri snimanju raspodele potencijala koristimo voltmetar s vrlo velikim unutrašnjim otporom, pošto otpor sonde u poređenju sa otporom voltmetra mora da bude zanemarljivo mali. Kako pri takvim merenjima napon treba meriti u velikom broju tačaka, praktično je neizvodljivo pobiti u svakoj tački sondu tako duboko u zemlju kao što to činimo pri merenju otpora uzemljivača, jer bi se posao veoma sporo odvijao. Stoga, obično, samo vrh sonde zabadamo u zemlju. Kako je zbog toga otpor sonde vrlo veliki i može da dostigne nekoliko hiljada oma, elektronski voltmetar postaje neophodan.

Ako u merenju učestvuju dve osobe, onda se ono može ubrzati. Tada, naime, dok se na jednoj sondi obavlja merenje, druga se pomera na sledeće merno mesto. Svakako da su u tom slučaju potrebne dve sonde, koje se naizmenično uključuju.

Merne tačke treba birati po određenom sistemu kako bi se kasnije moglo obaviti ucrtavanje ekvipotencijalnih kriva u plan zemljišta, kako to prikazuje slika 2.28. Veoma je podesno ako se pri merenju raspodele potencijala krećemo od određene polazne tačke pravolinijski u različitim smerovima, beležeći napon između uzemljivača i sonde u odabranim mernim tačkama.

U skladu s velikim dimenzijama površine na kojoj treba meriti raspodelu potencijala, predviđa se i oprema za ekipu koja vrši merenja. Treba predvideti dovoljnu količinu izolacionog provodnika, koji po mogućnosti treba da bude na kalemu pogodnom za nošenje na leđima, tako da za vreme hodanja može da se odvija ili navija. Veoma su podesni oni kalemi koji se upotrebljavaju u vojsci za telefoniju. U toku prvih 200 m treba merne tačke gusto postaviti, na primer, na svakih 20 metara, dok kasnije zadovoljava i rastojanje od 50 m. Prema prvoj gruboj oceni koju dobijamo na taj način, treba obaviti merenja i u međusmerovima, koje ćemo izabrati na najopasnijem području. Pri izboru smerova treba obratiti pažnju na eventualne metalne vodove, koji prolaze kroz područje uzemljivača (vodovodne cevi, kablovi t. sl.) i koji utiču u velikoj meri na raspored potencijala. Za brže odvijanje posla preporučuje se pre početka merenja označavanje smerova kočevima u tačkama gde će se vršiti merenje.

Na slici 2.28. prikazane su ekvipotencijalne linije oko uzemljivača hidroelektrane s pripadajućim razvodnim postrojenjem. Iz



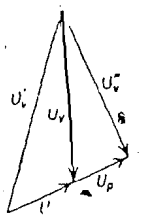
HE: hidroelektrana
S: razvodno postrojenje
N: naselje
R: reka
V: vodovodna cev

Sl. 2.28. — Ekvipotencijalne krive većeg površinskog uzemljivača

slike se prema gustini ekvipotencijalnih kriva lepo vidi gde su nagibi naponskog levka najveći, dakle, gde su najopasnija područja. Kroz područje ucrtanog postrojenja izvedena je vodovodna cev koja je vezana za uzemljivač. Prenos potencijala s tim u vezi se lepo vidi. Ekvipotencijalne krive ucrtane su u procentualnim vrednostima napona uzemljivača, koji je uzet sa 100%.

Slično kao i pri merenju otpora uzemljivača s velikim mernim strujama po metodi merenja struje i napona, javljaju se i pri merenju raspodele potencijala greške usled uticaja stranih struja, kao i usled induktivnih uticaja merne struje.

Greške koje nastaju usled uticaja stranih struja odstranjujemo, kao što smo to već rekli, izborom merne struje od oko 100 A. Ako želimo i pored toga da utvrdimo uticaj stranih struja, merenje ponavljamo, a pre toga zamenimo priključke na napojnom transformatoru tako da se obrne vektor napona za 180°. Ukoliko su oba

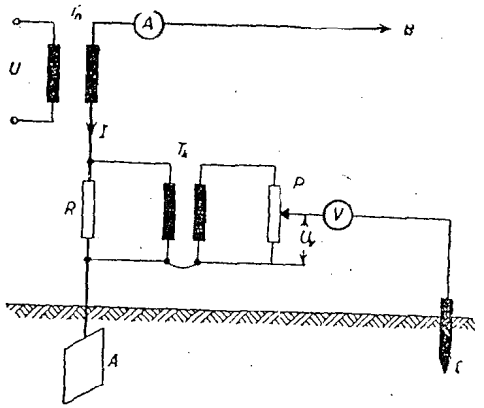


U_v: stvarni napon
U_v': merni napon
U_v'': merni napon u slučaju zamenjenog priključka
U_p: napon smetnji na napojnom transformatoru

Sl. 2.29 — **Vektorski dijagram**

napona praktično jednaka, onda su uticaji stranih struja zanemarljivo mali. Ukoliko se pak naponi razlikuju ($U_v' \neq U_v''$) treba izmeriti još i napon smetnji U_p, pri isključenom transformatoru, a zatim se može pomoću vektorskog dijagrama prema slici 2.29. odrediti stvarni napon U_v. Pošto uticaji zbog stranih struja nisu po vremenu konstantni, merenja se moraju obavljati brzo, jedno za drugim.

Znatno je teže utvrđivati napone smetnji koje nastaju usled induktivnih uticaja merne struje I, koji mogu da budu vrlo veliki,



Sl. 2.30 — **Određivanje napona smetnji**

A: uzemljivač oko kojeg određujemo raspored potencijala
B: dovod ka pomoćnom uzemljivaču
C: sonda u tački u kojoj određujemo potencijal
U: primarni napon napojnog transformatora
T_n: napojni transformator
R: otpor
T_k: strujni transformator
P: potenciometar
U_v: traženi napon
V: voltmetar koji kod minimalnog otklona pokazuje napon smetnji

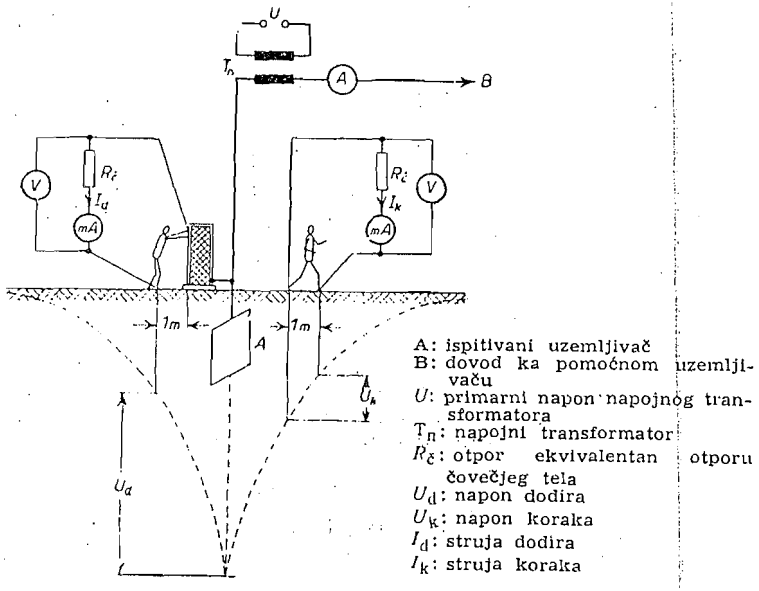
ako je dovod sonde paralelan s dovodom do pomoćnog uzemljivača. U tom slučaju napon, naime, raste približno u srazmeri sa rastojanjem između sonde i merenog uzemljivača, dok se u isto vreme napon približava krajnjoj vrednosti i na velikom rastojanju samo polako povećava. Napon smetnji tada najjednostavnije odstranjujemo kompenzacijskom metodom (2.25), na primer, prema slici 2.30. Metoda se zasniva na pretpostavci da je otpor rasprostiranja uzemljivača najvećim delom omskog karaktera. Zbog toga je pad napona na njemu u fazi sa strujom, dok je zbog merne struje u dovodu do sonde indukovani napon zaokrenut za 90%. Zato, za minimalni otklon voltmetra, V dobijamo na potenciometru P traženi napon U_v dok voltmetar tada pokazuje napon smetnji U_p.

Kako kod većih uzemljivača treba meriti raspored potencijala i na većim rastojanjima od uzemljivača, valja predvideti i način sporazumevanja između članova ekipe koja vrši merenje. Praksa je pokazala da su u tu svrhu najpogodniji induktorski telefoni.

2.52. Određivanje napona i struje dodira i napona i struje koraka

Pošto smo u celom području površine zatvaranja nacrtali napon tla, a na planu zemljišta uneli pripadajuće ekvipotencijalne krive (sl. 2.28), imamo dovoljno preglednu sliku o tome gde mogu napon dodira i napon koraka da dostignu veliku, opasnu vrednost i gde su potrebna dopunska merenja napona dodira odnosno koraka.

Napon dodira U_d i napon koraka U_k merimo pomoću iste metode kojom i raspodelu potencijala oko uzemljivača. Između merenog i pomoćnog uzemljivača stavimo dovoljno veliki naizmenični napon kako bi između oba uzemljivača tekla dovoljno velika struja (oko 100 A), a zatim voltmetrom s velikim unutrašnjim otporom (elektronski voltmetar) merimo napone (sl. 2.31). Napon dodira merimo između pojedinih metalnih uređaja odnosno njihovih kućišta i tla, obično na rastojanju od 1 m a napon koraka merimo između dve tačke i takođe na rastojanju od 1 m. Da bi pri merenju bio omogućen što bolji dodir sa tlom, a da u isto vreme onaj koji meri bude zaštićen od napona koraka odnosno dodira, potrebno je koristiti gumene čizme čiji su đonovi prevučeni bakarnom mrežom, kao i gumene rukavice, takođe prevučene bakarnom mrežom.



A: ispitivani uzemljivač
B: dovod ka pomoćnom uzemljivaču
U: primarni napon napojnog transformatora
T_n: napojni transformator
$R_č$: otpor ekvivalentan otporu čovečjeg tela
U_d: napon dodira
U_k: napon koraka
I_d: struja dodira
I_k: struja koraka

Sl. 2.31 — Određivanje napona i struje dodira kao i napona i struje koraka

Pri merenju napona dodira i napona koraka obično pored merenja u svakoj tački napona »na prazno«, vršimo i merenja uz postavljanje, između mernih tačaka paralelno sa voltmetrom, otpora opterećenja $R_č$ koji zamenjuje otpor ljudskog tela. Otpor ljudskog tela u raznim uslovima različite je vrednosti. Stoga se nekad u svakoj tački izvrši više merenja, stavljajući paralelno s voltmetrom različite otpore opterećenja $R_č$ = 500 Ω, 1000 Ω, 2000 Ω, 3000 Ω, 10 000 Ω itd. U većini slučajeva zadovoljava samo merenje napona sa paralelnim otporom od 3000 Ω koji najviše odgovara otporu ljudskog tela* [2.23, 2.24, 2.25].

Rezultati merenja napona dodira odnosno napona koraka mnogo su važniji pri opterećenju, jer napon na prazno, naročito na zemljištu koje je nasuto šljakom ili manje više sličnim izolacionim materijalom, ne može da bude kriterijum na osnovu kojeg

* Nemački propisi o zaštiti zahtevaju da unutrašnji otpor voltmetra pri merenju napona i struje koraka ne sme biti manji od 3000 Ω [2.31].

bi se mogao izvoditi zaključak o opasnim zonama. U pomenutom sloju, naime, javlja se, pri opterećenju sa otporom ljudskog tela, pad napona zbog kojeg na čoveka otpada manji deo celokupnog napona.

Istovremeno sa merenjem napona dodira odnosno koraka pri opterećenju sa $R_č$, preporučuje se i merenje *struje dodira* odnosno, *struje koraka*. U tom smislu paralelno sa $R_č$ postavljamo miliampermetar s malim unutrašnjim otporom. Na osnovu podataka dobijenih merenjem, određujemo stvarnu struju dodira odnosno struju koraka iz odnosa merne struje (100 A) i računski dobijene struje zemljospoja za slučaj kvara. Ako smo, na primer izmerili mernu struju 100 A, struju dodira 0,92 mA, a računski određena struja jednofaznog kratkog spoja iznosi 3500 A, onda najveća struja kroz ljudsko telo pri dodiru iznosi

$$0{,}92\ \frac{3500}{100} = 32{,}2\ \text{mA}$$

Na taj način možemo odrediti da li je struja dodira odnosno struja koraka opasna po ljudski život.

Napon dodira i napon koraka treba meriti na celom području transformatorske stanice, a i na području svih metalnih vodova koji prolaze kroz područje uzemljivača, a koji mogu da prenesu potencijal izvan njihovog područja.

2.53. Merenje prenosnog potencijala

Iako prenosni potencijal metalnih vodova (vodovodnih cevi, kablova itd.) kroz područje uzemljivača i površine zatvaranja može da se odredi računskim putem [2.25, 2.26], ipak treba pomoću merenja izvršiti kontrolu završenih objekata.

Prenosni potencijal obično merimo pomoću metode merenja struje i napona na način koji smo izneli. Između uzemljivača koga merimo i pomoćnog uzemljivača stavimo naizmenični napon kako bi između uzemljivača tekla dovoljno jaka struja. Voltmetar priključimo između uzemljivača i različitih mesta na kablovima, cevima i t. sl. koje u tu svrhu na određenim mestima otkopamo, a zatim merimo odgovarajuće napone U_p. Prenosni potencijal određujemo iz obrasca 2.28.

Međutim, prenosni potencijal može da se meri i neposredno ako pobijemo sondu u zemlju izvan površine zatvaranja i merimo napon između te tačke i pojedinih tačaka na kablovima i t. sl. Koji ćemo od ta dva načina da primenimo zavisi od lokalnih uslova.

Rezultate merenja prenosnog potencijala prikazujemo obično grafički.

2.6. Merenje razdvajanja struje u uzemljivaču

Kako kod direktno uzemljenih transformatorskih stanica moraju uzemljivači da odvode u zemlju vrlo velike struje, to merenjem treba kontrolisati i to kako se struja razdvaja na pojedine delove uzemljivača. To merenje zahteva velike struje koje sa strujnim kliještima merimo na najvažnijim mestima. Dobijene rezultate, preračunate za vrednosti struje greške ili izražene u relativnim vrednostima (u procentima struje greške), unosimo u nacrt uzemljivača.

To merenje ćemo najlakše obaviti onda kada merimo otpore uzemljivača i raspodelu potencijala oko uzemljivača.

2.7. Merenje specifičnog otpora tla

2.70. Opšte

Pre nego što odredimo oblik i veličinu uzemljivača i pre nego što izaberemo njegovu lokaciju treba ispitati teren i utvrditi gde je najmanji specifični otpor tla i koliko taj otpor iznosi. Pri tome, ne zadovoljava samo ispitivanje površinskih slojeva zemlje čije su električne osobine u osetnoj zavisnosti od vlažnosti koja je promenljivog karaktera, već valja dobiti i podatke o električnim osobinama dubljih slojeva, kako bi na osnovu toga moglo da se odredi do koje dubine treba uzemljivači da dopiru.

Specifični otpor tla treba meriti za vreme suše, kada je on najveći. Možemo ga meriti pomoću dve metode: prva zahteva četiri elektrode od kojih dve strujne moraju da budu odvojene od naponskih; druga, međutim, iziskuje samo tri elektrode, a merenje je slično merenju otpora rasprostiranja uzemljivača.

2.71. Merenje pomoću četiri elektrode

Po ovoj metodi merimo specifični otpor tla na taj način što pobodemo u zemlju u istom redu četiri elektrode koje se nalaze na podjednakim međusobnim rastojanjima a.

Ta rastojanja moraju da budu veća od prečnika površine zatvaranja elektroda. Spoljne elektrode, koje ćemo nazvati strujnim elektrodama, povezujemo preko ampermetra na izvor jednosmerne struje, a između unutrašnjih, naponskih elektroda, priključujemo voltmetar sa velikim unutrašnjim otporom (slika 2.32). Na osnovu očitavanja sa oba instrumenta određujemo specifični otpor tla pomoću obrasca:

$$\rho = 2\pi a \frac{U}{I} \qquad \ldots 2.29$$

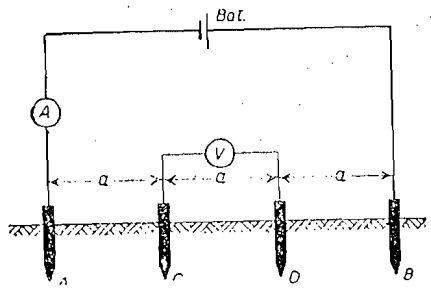
odnosno

$$\rho = 2\pi a R \qquad \ldots 2.29\ a$$

gde je

ϱ = specifični otpor tla (Ω m),
a = rastojanje između elektroda (m),
U = napon između naponskih elektroda (V),
I = struja kroz zemlju (A),
R = otpor između elektroda (Ω).

Merenje izvodimo praktično na taj način što za izvor jednosmerne struje upotrebimo anodnu bateriju koja ima nekoliko izvoda kako bismo napon mogli da menjamo. Napon merimo visokoomskim voltmetrom čiji otpor mora da bude dovoljno veliki da ne



A, B: strujne elektrode
C, D: naponske elektrode
Bat: izvor jednosmernog napona

Sl. 2.32 — Merenje specifičnog otpora tla pomoću četiri elektrode

bi uticao na razdvajanje struje u zemlji. To praktično znači da je potreban voltmetar koji omogućava, pri unutrašnjem otporu od bar 1000 Ω, merenje i nekoliko milivolta.

Kako se pri ovom merenju javljaju polarizacioni naponi, to njihov uticaj na merenje treba odstraniti. To ćemo postići najlakše ako neposredno posle merenja sa uključenom anodnom baterijom, ponovimo merenje napona bez baterije, pri čemu merimo samo polarizacioni napon koji zatim oduzimamo od ranije očitane vrednosti.

Međutim, bolje je, ipak vršiti merenje napona kompenzatorom, pošto njime dobijamo tačnije rezultate, jer on ne trpi smetnje usled polarizacionih napona pošto su obe naponske elektrode bez struje.

Po toj metodi možemo specifični otpor tla meriti i fabričkim meračima koji imaju naponske stezaljke odvojene od strujnih, dakle koji imaju četiri stezaljke. Od merača opisanih u poglavlju 2.3, možemo u tu svrhu da upotrebimo aparate sledećih firmi: Evershed & Vignoles (Megger, Series 1), Siemens & Halske (izvedba za ispitivanje terena), Goerz i Metrawatt (tip JTs). Otpor kod ovih fabričkih merača merimo neposredno između naponskih elektroda, specifični otpor računamo pomoću obrasca 2.29a.

Pošto specifični otpor nije svuda isti treba da na zemljištu, na kome mislimo da postavimo uzemljivač, izvršimo više merenja. Na raspolaganju imamo dva načina za određivanje specifičnog otpora tla, čiji izbor zavisi od toga da li treba na određenim mestima odrediti specifični otpor površinskog sloja ili pak slojeva na različitim dubinama.

U prvom slučaju, specifični otpor tla merimo na različitim mestima, tako da rastojanje između elektroda bude uvek isto. Na taj način utvrđujemo *horizontalne promene* specifičnog otpora terena koga ispitujemo, kako bismo mogli da odredimo gde je specifični otpor najmanji i gde je najprikladnija lokacija za uzemljivač. Taj način je pogodan samo za uzemljivače koji ne dopiru do velikih dubina.

U drugom slučaju povećavamo rastojanje elektroda od neke izabrane srednje tačke ka spoljašnosti i merimo specifični otpor za različita rastojanja između elektroda, te na taj način određujemo koliki je specifični otpor na različitim dubinama. Što je, naime, veće rastojanje između elektroda, to merna struja dublje prodire u zemlju i time je i dubina zemlje zahvaćene merenjem veća. Na ovaj način određujemo *vertikalne promene* specifičnog otpora. Pri tome pazimo na sledeće: ako se povećavanjem rastojanja specifični

otpor ne menja, znači da je materijal po celoj dubini u električnom smislu podjednak; ako, međutim, primetimo da se za određeno rastojanje između elektroda specifični otpor počeo da menja, to je znak da se pojavio u dubini sloj s manjim ili većim specifičnim otporom. Pošto je rastojanje od površine zemlje do tog sloja isto kao i rastojanje između elektroda, možemo da odredimo dubinu tog sloja. Ta činjenica nije od koristi samo za određivanje oblika i lokacije uzemljivača, već je od izvanrednog značaja i za geoelektričko istraživanje tla [2.21, 2.22].

2.72. Merenje pomoću tri elektrode

Prilikom merenja specifičnog otpora tla pomoću tri elektrode, u zemlju pobijamo ispitivani uzemljivač u obliku cevi i to na mesto predviđeno za postavljanje uzemljivača, a zatim na rastojanjima, datim u tački 2.12, pobijamo sondu i pomoćni uzemljivač u zemlju i merimo otpor po bilo kojoj od opisanih metoda.

Specifični otpor tla za područje ispitivanog uzemljivača izračunavamo zatim pomoću sledeće formule

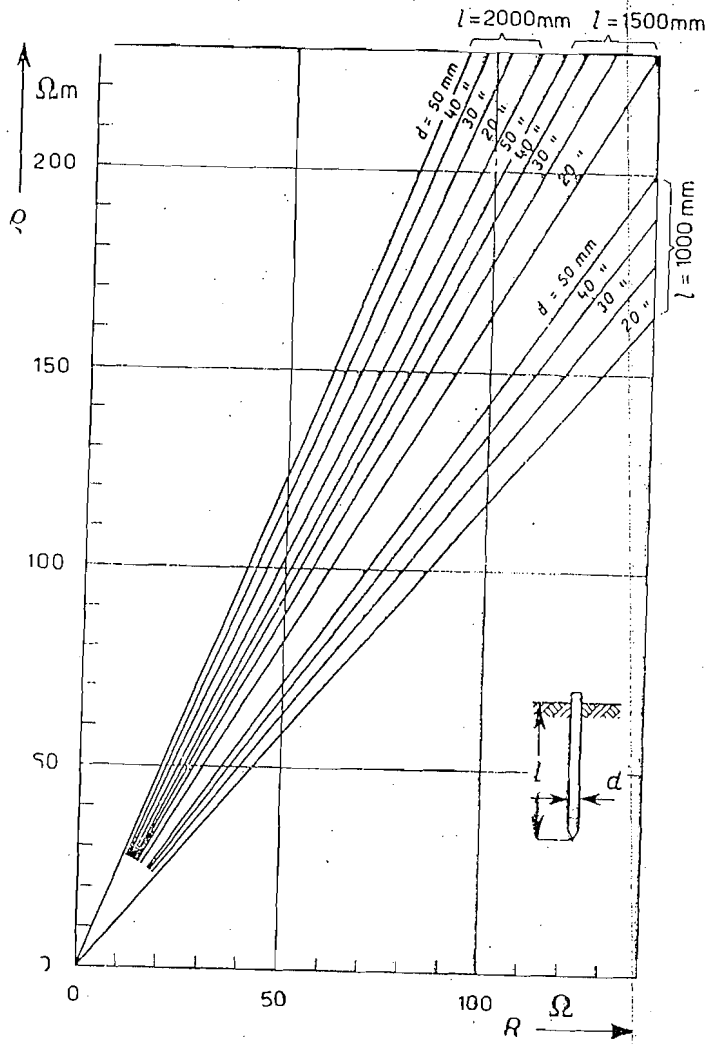
$$\rho = R \frac{2\pi l}{\ln \frac{4l}{d}} \qquad \ldots 2.30$$

gde je

ϱ = specifični otpor tla (Ωm)
R = izmerena vrednost otpora ispitivanog uzemljivača (Ω)
l = dužina ispitivanog uzemljivača (m)
d = spoljašnji prečnik ispitivanog uzemljivača (m).

Da izbegnemo računanje na terenu, primenićemo grafičko određivanje specifičnog otpora pomoću slike 2.33.

Izbor ispitivanog uzemljivača i njegovih dimenzija vršimo prema tipu uzemljivača koga predviđamo. Ako smo predvideli dubinski, onda ispitivani uzemljivač treba pobiti u zemlju čak i do dubine veće od 2 m.



Sl. 2.33 — **Dijagram za grafičko određivanje specifičnog otpora tla pri merenju pomoću tri elektrode**

l: dužina cevi ispitivanog uzemljivača
d prečnik cevi ispitivanog uzemljivača
R izmereni otpor ispitivanog uzemljivača u Ω
ρ: specifični otpor tla u Ω m.

2.8. Kontrola uzemljivačkih vodova

Pri instalaciji uzemljenja praksa je pokazala da nije dovoljno samo vršiti nadzor uzemljivača i periodično merenje njihovog otpora rasprostiranja, već da treba redovno kontrolisati i dovode do uzemljivača, a naročito njihova mesta spajanja. Provodnici, koji spajaju električne uređaje sa odgovarajućim uzemljivačima, izloženi su kako mehaničkim oštećenjima tako i koroziji, a posledica toga je prekidanje uzemljivačkih dovoda. Nije, međutim, isključeno ni uništenje spojnih mesta do kojih može da dođe usled velikih struja u slučaju velikih prolaznih otpora. Stoga treba nužno vršiti periodičnu kontrolu (bar jednom godišnje) svih dovoda do uzemljivača i izmeriti njihov otpor. Kako većina fabričkih merača može da se upotrebi i za merenje metalnih provodnika, to kontrolu možemo obaviti njima ili pak običnim ommetrom.

LITERATURA

za I i II deo

I deo: PRORAČUN I IZVOĐENJE UZEMLJENJA

[1.1] Tehnički propisi za izvođenje uređaja jake struje za pogonski napon iznad 1 000 V. Službeni list FNRJ br. 6/57 od 6. februara 1957.

[1.2] W. Koch: Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV (2. aufl.) Verlag Julius Springer, Berlin—Göttingen—Heidelberg 1955.

[1.3] F. Mlakar: Ozemljitve v električnih napravah II. del, Merenje ozemljitev, Elektrotehniško društvo Slovenije, 1957.

[1.4] Löbl: Erdung, Nullung und Schutzschaltung nebst Erläuterungen zu den Erdungsleitsätzen, Verlag Julius Springer, Berlin 1955.

[1.5] Laurent: Notes sur les mises à la terre dans les réseaux II/1950.

[1.6] Publikacija CIGRE br. 405.

[1.7] Tehnički propisi za postavljanje i održavanje gromobrana. Službeni list FNRJ br. 3/57 od 13. februara 1957.

[1.8] A. Bajec: Zaščita pred napetostjo dotika I. del. Zaščita v električnih napravah jakega toka z nizko napetostjo, Elektrotehniško društvo Slovenije 1957.

[1.9] A. Bajec: Zaščita pred napetostjo dotika II. del, Zaščita v električnih napravah jakega toka z visoko napetostjo, Elektrotehniško društvo Slovenije 1957.

[1.10] M. Erich: Betriebs-und Schutzerdungen in Verteilernetzen und Stationen. Elektrizitätswirtschaft 1953. str. 340.

[1.11] Jonson: Erdungen von Leitungssystemen, Elektrizitätswirtschaft 1953.

[1.12] W. Koch: Erdungsmassnahmen für Höchstspannungsanlagen mit geerdeten Sternpunkt, Elektrotechnische Zeitschrift 1950, Band 71, str. 89.

[1.13] W. Koch: Die Schutzerdungsanlage des Kraftwerkes, Siemens Zeitschrift 1932.

[1.14] Niemann: Umstellung von Hochstspannungs—Erdungsanlagen auf den Betrieb mit starr geerdetem Sternpunkt, Elektrotechnische Zeitschrit 1952, Band 73, str. 33.

[1.15] G. Oberdorfer: Der Erdschluss und seine Bekämpfung, Verlag Julius Springer, Wien 1930.

[1.16] Ollendorf: Erdströme, Verlag Julius Springer, Berlin 1928.

[1.17] W. Schrank: Schutz gegen Berührungsspannungen, (2. Aufl.). Verlag Julius Springer. Berlin—Göttingen—Heidelberg 1952.

[1.18] F. Schulteiss: Ozemljilne naprave elektrarn stikalnih naprav in transformatorskih postaj, Elektrotehniški vestnik 1949, br. 6/7, str. 142.

[1.19] A. L. Vajner: Zazemljenija, Moskva 1938.

[1.20] H. Weber: Der Erdschluss an Hochspannungsnetzen, München-Berlin 1936.

[1.21] R. Willheim: Das Erdschlussproblem in Hochspannungsnetzen, Verlag Julius Springer, Berlin 1936.

[1.22] G. Bodier, J Narcy, R. Prévost: Réalisation des circuits de terre dans les postes et centrales, Bulletin Soc. franc. électr. nov. 1951, str. 717—734.

[1.23] V. Ljubojević: Prenos povišenog potenciala uzemljenja iz postrojenja sa uzemljenom neutralnom tačkom, Elektroprivreda 8 (1955) br. 6, str. 339—342.

[1.24] G. Bodier: Prospection systématique des gradients de potentiel au voisinage et à l'intérieur d'un poste de transformation, Bulletin Soc. franc. électr. jul 1951, str. 403—416.

[1.25] Vorschriften für Erdungen in Wechselstromanlagen für Nennspannungen von 1 kV und darüber, VDE 0141/7.55.

II deo: MERENJE UZEMLJENJA

[2.1] W. Koch: Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV, 2. izd., izd. J. Springer, Berlin—Göttingen—Heidelberg 1955.

[2.2] A. I. Lurje, Električeskije izmerenija v setjah silnogo toka, GOSENERGOIZDAT, Leningrad—Moskva 1948.

[2.3] V. Fritsch, Die Messung von Erderwiderständen, izd. F. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1942.

[2.4] J. Niemann, Umstellung von Höchstspannungs—Erdungsanlagen auf den Betrieb mit starr geerdetem Sternpunkt, ETZ 73 (1952), br. 10, stran 333 ... 337.

[2.5] W. Skirl, Elektrische Messungen, izd. W. de Gruyter & Co., Berlin—Leipzig 1936.

[2.6] A. Linker: Elektrische Messkunde, 4. izd., izd. J. Springer, Berlin 1932.

[2.7] F. Vršnak: Enostaven merilnik ozemljitvene upornosti, Iskra 1 (1955), št. 1. str. 10 ... 13.

[2.8] F. Havelka, Nový spusob pro rychlou a spolehlivou kontrolu nulování, Energetika 3 (1953), br. 3, str. 108 ... 110.

[2.9] A. Galeazzi, R. Marenesi, A. Paolucci: Ohmmètre de terre en ondes de choc pour la détermination des résistances de terre dans les lignes de transmission avec fil de garde. CIGRE 1954, izveštaj 329.

[2.10] Publikacije 201, 202/2, 217 in 250 firme Evershed & Vignoles Ltd., London.

[2.11] Erdwiderstandsmesser Metra „Terromet". Publikacija firme Metra, Blansko.

[2.12] Erdwiderstands—Messbrücke RE 58. Publikacija firme Elektrotechnisches Laboratorium, Ing. R. Baumann, Stuttgart.

[2.13] Messen von Erdübergangswiderständen mit dem Pontavi—Wheatstone. Publikacija firme Hartmann & Braun, Frankfurt/Main.

[2.14] Gebrauchsanweisung zur Erdungsmessbrücke Mod. 150. Publikacija firme Norma, Wien.

[2.15] Erdungsmesser für Starkstromanlagen und für Baugrunduntersuchungen. Publikacija 506/1 firme Siemens & Halske, Berlin.

[2.16] Beschreibung und Gebrauchsanweisung für Goerz—Erdungsmesser Type 126, 286. Publikacija firme C. P. Goerz, Wien.

[2.17] „Geohm" Erdungsmesser, Publikacija firme Gossen, Erlangen.

[2.18] Publikacija OP 3 i OP 4/TI firme Chauvin Arnoux, Paris.

[2.19] Publikacija 5.655 firme Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, Montrouge.

[2.20] Erdungsmesser „Terrafix III". Publikacija firme Metrawatt, Nürnberg.

[2.21] H. Obpacher: Erfahrungen mit dem Siemens—Erdungsmesser für Bodenuntersuchungen, **Siemens Zeitschrift** 1953, avg., str. 281 ... 287.

[2.22] R. Wessel, Einfaches Verfahren zur elektrischen Untersuchung des Untergrundes für Erdungen. **ETZ** 71 (1950), br. 13 str. 339 ... 340.

[2.23] G. Bodier, J. Narcy, R. Prevost: Réalisation des circuits de terre dans les postes et centrales. **Bulletin Soc. franç. électr.**, nov. 1951. str. 717 ... 734.

[2.24] M. Golubović, Lj. Milanković: Kako su izvedena direktna uzemljenja mreže 110 kV u NR Srbiji i rezultati ispitivanja. **Elektroprivreda** 7 (1954), br. 6 str. 302 ... 307.

[2.25] W. Erbacher: Probleme der Erdung von Höchstspannugsstationen unter besonderer Berücksichtigung der Messung. **Oesterr. Zeitschr. für Elektrizitätswirtschaft** 8 (1955), br. 1, str. 1 ... 12.

[2.26] V. Ljubojević: Prenos povišenog potencijala uzemljenja iz postrojenja sa uzemljenom neutralnom tačkom. **Elektroprivreda** 8 (1955), br. 6. str. 339 ... 342.

[2.27] H. Bastard: Mesures effectuées dans les ateliers concernant la résistivité apparente des sols et les dangers de mise sous tension des masses métalliques. Effet des liaisons équipotentielles entre masses. **Bulletin Soc. franç. électr.**, nov 1951, str. 711 ... 716.

[2.28] G. Bodier: Prospection systématique des gradients de potentiel au voisinage et à l'intérieur d'un poste de transformation. **Bulletin Soc. franc. électr.**, jul 1951, str. 403 ... 416.

[2.29] H. Langer: Messungen von Erderspannungen in einem 220-kV — Umspannwerk, **ETZ-A**, 75 (1954), br. 4, str. 97 ... 105.

[2.30] W. Renner: Praktische Messung der Potentialverteilung in Hochspannungsanlagen unter Verwendung eines dafür entwickelten Hilfsgerätes. **Oesterr, Zeitschr. für Elektrizitätswirtschaft** 8 (1955), br. 9, str. 358 ... 359.

[2.31] Vorschriften für Erdungen in Wechselstromanlagen für Nennspannungen von 1 kV und darüber. **VDE** 0141/7.55.

[2.32] Leitsätze für Schutzmassnahmen in Starkstromanlagen mit Betriebsspannungen unter 1000 V. **VDE.** 0140/1932.

[2.33] A. Bajec: Ozemljitve v električnih napravah, I. del: Izračun in izvedba, izd. Elektrotehniško društvo Slovenije, Ljubljana 1957.

[2.34] P. M. Pflier, B. Marsch: Bodenuntersuchung und Erdungsmessung. **ETZ** 62 (1941), br. 46/47, str. 920.

[2.35] I. Induni: Ein Erdungsprüfer für geerdete oder genullte Objekte. **Bulletin SEV** 29 (1938), br. 2, str. 34.

[2.36] W. Keller, Neue Messmetode zur Bestimmung der Berührungsspannung und der Kurzschlusstromstärke an genullten Sekundärnetzen. **Bulletin SEV** 45 (1954), br. 16, str. 658.

U izdanju Zajednice jugoslovenske elektroprivrede izašla je iz štampe knjiga

OSNOVI ANALIZE ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

od prof. dr inž. Slobodana DESPOTOVIĆA, višeg naučnog saradnika Elektrotehničkog instituta „Nikola Tesla" i vanrednog profesora elektrotehničkog fakulteta u Beogragu.

Ova knjiga predstavlja neophodan priručnik onima koji se bave proučavanjem i analiziranjem problema iz oblasti prenosa električne energije u elektroenergetskim sistemima.

U knjizi su detaljno izložena pitanja raspodele snaga i naponskih prilika u sistemima ustaljenog i uravnoteženog napona. Prikazana je teorija sinhronih mašina, transformatora i vodova sa aspekta problematike elektroenergetskih sistema. Obuhvaćena je i analiza neuravnoteženih elektroenergetskih sistema, kao i studija kratkih veza i stabilnost sistema. Obrađena je i problematika induktivnosti i kapacitativnosti nadzemnih vodova. Posebno su prikazane osnove sistema jediničnih vrednosti.

Materija u knjizi obrađena je savremenim metodima, i sa dosta primera koji čine obrađenu materiju pristupačnom i razumljivom.

Knjiga je od nesumnjive koristi kako onima koji se bave teorijskim problemima prenosa energije tako i inženjerima koji se bave planiranjem, projektovanjem i eksploatacijom elektroenergetskih sistema, a dobro može poslužiti i studentima koji proučavaju probleme iz prenosa električne energije.

Knjiga ima 328 stranica, formata 15 × 23 cm, sa 219 slika u tekstu, i savremeno je tehnički opremljena sa platnenim povezom i zaštitnim omotom u boji, i može se nabaviti u:

Uredništvu časopisa „ELEKTROPRIVREDA", Balkanska 13, Beograd i

Prodavnici JUGOSLOVENSKE KNJIGE, Kneza Mihajla 2, u Beogradu

INDEKS
za I i II deo

I deo: PRORAČUN I IZVOĐENJE UZEMLJENJA

Boje uzemljivačkih vodova 86

Dubinsko ukopavanje 31

Faktor f mrežastog uzemljivača 73
— f_r uzemljivača velike dužine 36, 37
— f_u uzemljivača velike dužine 37, 38
— K naponskog levka cevastog uzemljivača 19

faktori K_1 i K_2 mrežastog površinskog uzemljivača 68

faktor K_s gromobranskog uzemljivača 84, 85
— k_p štapastog uzemljivača 16, 17
— k_t trakastog uzemljivača 23, 25
— $\pm k_t$ trakastog uzemljivača 25
— m_a obručastog uzemljivača 41
— m_b obručastog uzemljivača 41
— m_o obručastog uzemljivača 42
— m_1 obručastog uzemljivača 41
— q pločastog uzemljivača 46, 47, 49, 68
— a trakastog uzemljivača 26, 27, 28, 29
— β trakastog uzemljivača 33, 34, 35
— γ obručastog uzemljivača 42, 43, 44, 49
— δ pločastog uzemljivača 46, 49, 68
— $\varkappa$ uzemljivača velike dužine 36, 37, 38

Izvođenje uređaja za uzemljenje 86

Korozija uzemljivača 94

Napon dodira 6, 7, 54
— koraka 6, 7, 32, 56, 60
— tla, 5, 7, 14
— tla, relativni 15
— uzemljivača 4, 5, 6, 14

naponski levak 5, 6, 14, 19, 26, 31, 35, 42, 48, 73
— — spoljašnji 59
— — unutrašnji 54

neuzemljeno zvezdište 129

Oblikovanje potencijala 8, 95

obruč, kružni 38
— koncentrični 69

opterećenje uzemljivačkih vodova 12, 82

otcepi i spojevi 88

otpor rasprostiranja 4, 16, 18, 24, 38, 48, 67
— — pravougaone ploče 48
— — trakastog uzemljivača 24
— tla, specifični 10, 11

Potencijalno polje 4, 8

praktični primeri uzemljenja 99
— „Geohm" 180
— kvocijentni 155
— „Megger" 169
— „Terrafix" 183
— „Terromet" 171

merači po kompenzacionoj metodi 177
— po metodi merenja struje i napona 169
— po metodi poređenja 183
— po Stösselovoj metodi 175
— otpora rasprostiranja uzemljenja 168
— visokofrekventni 168
— po Wiechertovoj metodi 171

merenje otpora uzemljenja stubova 190
— — gromobranskog užeta 190
— — dubinski uzemljivača 186
— — trakastih uzemljivača 186
— prenosnog potencijala 199
— razdvajanja struje u uzemljivaču 200
— specifičnog otpora tla 200
— — — površinskih uzemljivača 187
— strujom visoke učestanosti 167

merna struja 153

metoda Behrendova 162
— bez sonde i pomoćnog uzemljivača 165
— kompenzaciona 161
— merenja struje i napona 154
— mostovna 156
— Nippoldtova 156
— potenciometarska 161
— poređenja 164
— Stösselova 159
— Wiechertova 158

most Pontavi-Wheatstone 173

Napon dodira 197
— koraka 197

naponski levak 147

Određivanje napona dodira 197
— — koraka 197
— raspodele potencijala 192
— struje dodira 197
— — koraka 197

otpor uzemljivača 145
— pomoćnog uzemljivača 152
— rasprostiranja 146
— rasprostiranja na udar 146
— sonde 152
— uzemljenja 145

Površina zatvaranja 147

potencijal prenosni 199

Raspodela potencijala 192

rastojanje pomoćnog uzemljivača od sonde 147
— sonde od ispitivanog uzemljivača 147

Sonda 147
— kapacitivna 152
— oblik 151
— otpor 151

specifični otpor tla 145, 200

struja dodira 197
— koraka 197
— strana 195
— lutajuća 153

Uzemljivač, cevasti 148
— ispitivani 148
— otpora rasprostiranja uzemljivača 168
— visokofrekventni 167
— po Wiechertovoj metodi 172
— kombinovani 148
— obručasti 148
— paličasti 148
— pločasti 148
— pomoćni 147, 151
— površinski 148, 187
— strujni 147
— trakasti 148, 186
— za gromobranske instalacije 167

uzemljenje pogonsko 155
— gromobransko 153

Voltmetar, elektronski 154, 189, 194, 197

Zemlja, idealna 146

prečnik računski, uzemljivača D 48, 49, 67
prečnik računski, provodnika d 22
premošćenje vodomera 91
priključak uzemljivačkih vodova 90
— potrošača 93
proračun uzemljivača 10
provodnici uzemljenja 3, 4, 86
— — glavni 4, 11, 13
— — otcepni 4, 11, 13
— — priključni 11
— — unutrašnji 73
Struja zemljospoja 4
— opterećenja trajna, dozvoljena 12
Uzemljena ograda 97
uzemljeno zvezdište 132
uzemljivači 3
uzemljivač, cevasti 15
— dubinski 8, 9, 14
— gromobranski 84, 139
— na kamenoj podlozi 80
— mrežasti 21
— — površinski 66
— u nehomogenoj zemlji 77
— u rečnom koritu 80
— obručasti 38
— u obliku polukugle 14
— plitki 8, 9
— pločasti 13, 20, 45
— posebni 8
— površinski (plohasti) 38
— — od paralelnih traka 50
— pravolinijski 22
— priručni 8
— velike dužine 36
— vodoravni 90
— štapasti 13, 15
— trakasti 13, 22
uzemljenje građevinske mašine 99
— industrijske instalacije 106
— kućne instalacije 101
— pogonsko 3, 86
— poljoprivredne mašine 99
— radničke instalacije 103
— stambene kolonije 104
— transformatorskih stanica 113
— zaštitno 3, 86, 113, 115
uzemljivački uređaj 3
— vodovi 3, 4, 11, 13, 86
Veza, deljiva 88, 89
— nedeljiva 89
Zagrevanje uzemljivača 82
zalivanje uzemljivača 93
zaštitno uzemljenje 3, 86, 113, 115
zvezdište neuzemljeno 129
— uzemljeno 132

II deo: MERENJE UZEMLJENJA

Greška zbog nepravilnog rastojanja sonde 149
greška zbog stranih struja 195
Kontrola uzemljivačkih vodova 205
Merač firme Chauvin Arnoux 181
— — Compteurs Montrouge 182
— — C. P. Goerz 179
— — El. Laboratorium 171
— — Iskra 185
— — Leti 183
— — Elektronika 183
— — Norma 175
— — OLIZ 171
— — Siemens & Halske 177

PREGLED

elektrotehničkih publikacija u izdanju
ELEKTROTEHNIŠKE ZVEZE SLOVENIJE

		Cena za 1 primerak:
A. Elektrotehnički priručnik		
Mogu se dobiti još sledeće sveske:		
Čišćenje, sušenje in kontrola izolacije električnih strojev in transformatorjev, ing. Edvard Höfler	din.	300.—
Matematika I del — Matematične tabele, ing. Slavko Hodžar	”	220.—
Navodila za uporabo matematičnih tabel, ing. Slavko Hodžar	”	80.—
Mali transformatorji in dušilke, ing. France Mlakar, ing. Igor Kloar	”	900.—
Električna oprema motornih vozila, ing. Vreček, ing. Ivanc, ing. Poštuvan, P. Kryštufek	”	1.500.—
B. Slovenski elektrotehniški slovar		
(Slovenački elektrotehnički rečnik izrađen prema IEC rečniku sa srpskohrvatskim, francuskim, engleskim i italijanskim terminima uz slovenačke termine i definicije)		
Skupina 05 Osnovne definicije — EDS 1957.	din.	550.—
Skupina 07 Elektronika — EDS 1959.	”	600.—
Skupina 11—12 Statični pretvorniki-Magnetni transduktorji — EZS 1961.	”	320.—

Skupina 15 Stikalne plošče in aparati — EZS 1960.	"	350.—
Skupina 16 Zaščitni releji — EZS 1963. . .	"	580.—
Skupina 20 Merilni isnstrumenti — EZS 1961. .	"	400.—
Skupina 35—40 Elektromehanska in elektrotermična uporeba električne energije — EZS 1962. . .	"	550.—

C. Ostale publikacije

Specifikacije za električne naprave z motorjem za gospodinjske in podobne namene (prevod publikacije CEE 10)	din.	3.000.—
Specifikacije za električne kuhalne in grelne naprave za gospodinjske in podobne namene (prevod publikacije CEE 11)	"	5.000.—
Zbornik referata III jugoslovenske konferencije o elektronici, telekomunikacijama i automatizaciji — Ljubljana 1958.	"	2.000.—
Zbornik radova I jugoslovenskog simpozijuma o električnim merenjima i mernoj opremi — Ljubljana 1961.	"	2.000.—
I jugoslovenski simpozijum o automatizaciji u saobraćaju (I i II knjiga) Ljubljana 1962. . .	"	2.000.—
Zbornik radova II jugoslovenskog simpozijuma o električnim merenjima i mernoj opremi — Ljubljana 1963.	"	2.000.—
II savetovanje o sastavnim delovima i materijalima — Ljubljana 1963.	"	2.000.—

Narudžbe prima: ELEKTROTEHNIŠKA ZVEZA SLOVENIJE

LJUBLJANA, Erjavčeva c. 15a

Žiro rač. br.: 600-14-603-125